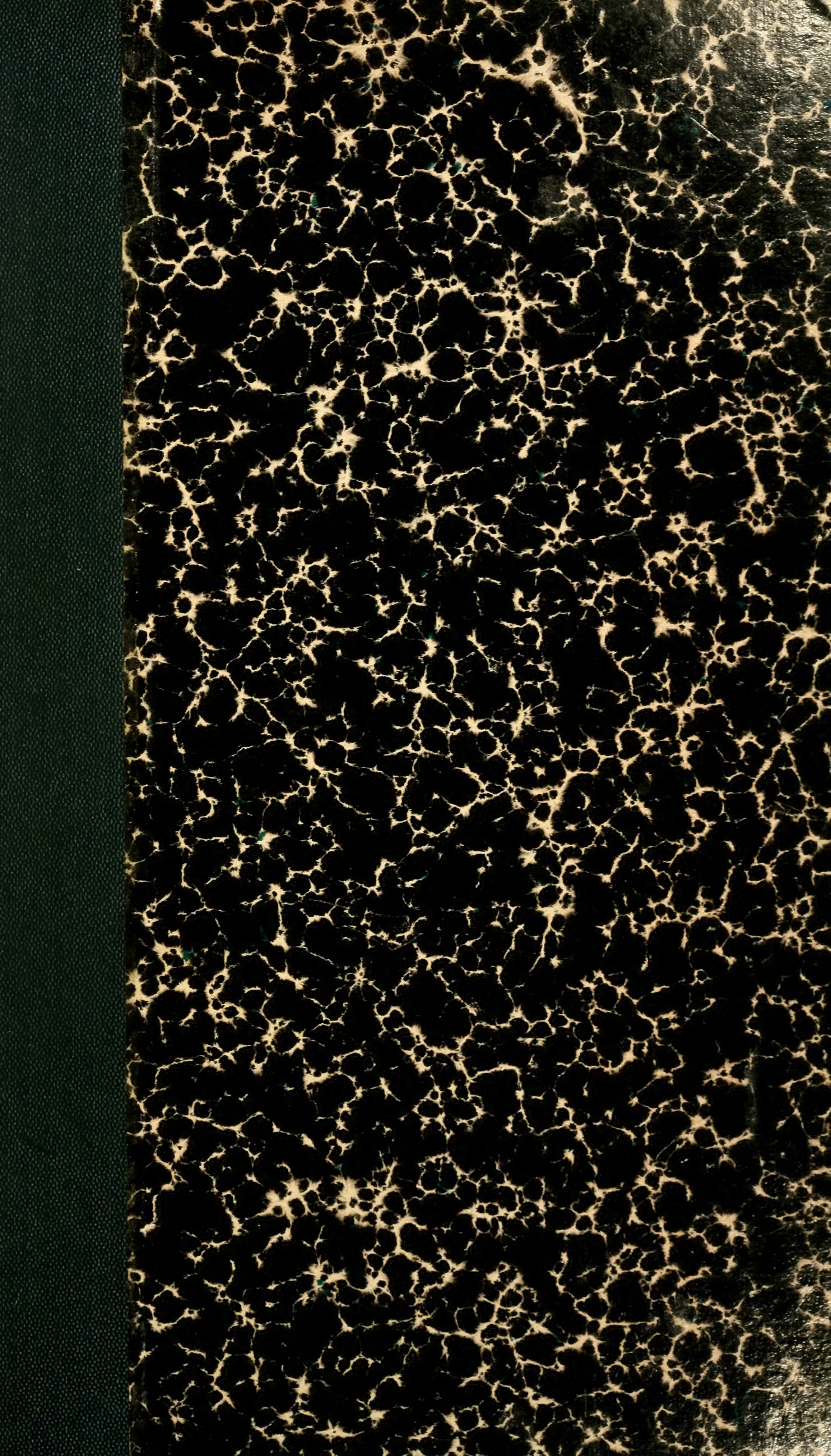
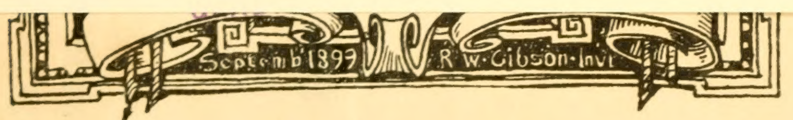



Septemb 1899
R·W·Gibson·Invt

ARCHIVES

DES

SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES



GENÈVE. — IMPRIMERIE RAMBOZ ET SCHUCHARDT

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

ET

REVUE SUISSE

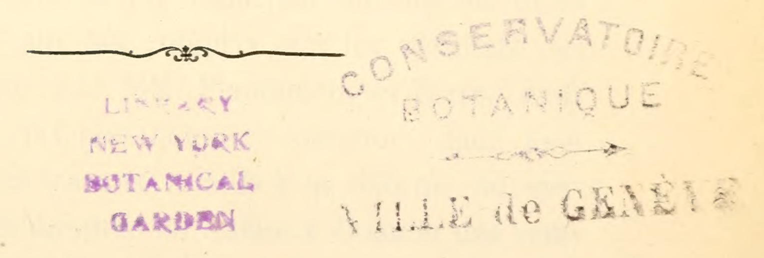
ARCHIVES

DES

SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

NOUVELLE PÉRIODE

TOME QUARANTIÈME



GENÈVE

BUREAU DES ARCHIVES, RUE DE LA PÉLISSERIE, 18

LAUSANNE
GEORGES BRIDEL
Place de la Louve, 1

PARIS
JOEL CHERBULIEZ
Rue de Seine, 33

Dépôt pour l'ALLEMAGNE, H. GEORG, A BALE

1871

OBSERVATIONS

SUR LE

MÉMOIRE DE MM. E. PLANTAMOUR ET A. HIRSCH

Note sur la détermination
du coefficient de dilatation d'un barreau d'argent,

Par M. H. WILD

(Traduit de l'allemand.)

Le mémoire de MM. Plantamour et Hirsch intitulé : « Note sur la détermination du coefficient de dilatation d'un barreau d'argent, » a induit en erreur, à ce que j'ai su, et cela par suite d'une rédaction incomplète, quelques physiciens qui ont compris que les résultats des mesures exécutées par MM. Plantamour et Hirsch mettaient en doute certaines données contenues dans mon « Rapport sur les travaux relatifs à la réforme du système des poids et mesures en Suisse. » Comme une semblable incertitude nuirait singulièrement au but que l'on s'était proposé en fondant le bureau fédéral des poids et mesures et que d'ailleurs, à ce que m'a dit mon ami M. Hirsch lui-même, l'on ne pourrait absolument pas tirer une semblable conclusion des recherches de ces Messieurs, je crois indispensable de présenter sur ce point quelques remarques propres à écarter ce malentendu.

Dans l'introduction à leur travail, MM. Plantamour et Hirsch disent qu'ils ont fait, ainsi que M. Paalzow, des expériences pour déterminer la dilatation absolue de l'étalon normal en bronze d'aluminium du bureau fédéral des poids et mesures à Berne, et que ces recherches ont abouti à des résultats qui ne concordaient pas entre eux et ne concordaient pas davantage avec les valeurs que j'avais assignées moi-même précédemment à cette dilatation.

MM. Plantamour et Hirsch ne donnent du reste aucun détail sur la méthode qu'ils ont employée, ni sur la grandeur des écarts observés, mais ils disent simplement que ceux-ci dépassent notablement les erreurs d'observation et les limites dans lesquelles l'appareil micrométrique cesse d'être exact. Ceci les amena à conclure que la dilatation du barreau de bronze d'aluminium ne se faisait pas d'une manière régulière, mais qu'elle était troublée par la présence de la lame d'argent qui porte la division et qui est fixée par des goupilles au barreau lui-même. En conséquence de cela, MM. Plantamour et Hirsch remplacèrent le barreau de bronze d'aluminium avec lame d'argent par un barreau en argent placé dans la rainure d'un grand barreau en laiton, puis ils exécutèrent une série complète d'expériences sur la dilatation absolue de ce barreau, et c'est principalement à la description de ces expériences qu'est consacré le mémoire en question. Il en ressort que les deux expérimentateurs n'obtinrent pas non plus au début des résultats satisfaisants avec ce barreau d'argent, parce qu'ils observèrent d'abord suivant une méthode inexacte. Ce fut seulement plus tard, lorsqu'ils adoptèrent la seule méthode correcte, qu'ils obtinrent des résultats satisfaisants et concordant

dans la limite des erreurs d'observation. Or comme mes déterminations de la dilatation absolue de l'étalon normal en bronze d'aluminium ont été faites d'après la méthode exacte, ainsi que cela ressort de la description qui en a été donnée dans le rapport ci-dessus mentionné, et que MM. Plantamour et Hirsch n'indiquent pas la méthode qu'ils ont suivie dans leurs expériences, l'on est amené à conjecturer que la concordance insuffisante qu'ont présentées entre elles leurs expériences sur le barreau en bronze d'aluminium et l'écart qu'elles ont montré avec les miennes doivent être simplement attribués à cette circonstance qu'alors aussi ils ont opéré avec une méthode inexacte. Si j'ai bien compris M. Hirsch, c'est bien là, en effet, la manière de voir de ces Messieurs. L'on ne peut donc que regretter qu'ils n'aient pas fourni sur ce point, à la fin de leur mémoire, des explications propres à écarter le malentendu en question.

Pour le faire entièrement disparaître, je mentionnerai simplement encore ce fait, c'est que le directeur actuel du bureau fédéral des poids et mesures, M. Hermann, a déterminé de son côté la dilatation du barreau en bronze d'aluminium en suivant la méthode exacte et en observant toutes les mesures de précaution que j'ai indiquées, et qu'il a obtenu, à ce qu'il m'a fait savoir, une valeur très-rapprochée de celle que j'avais obtenue moi-même.

J'ai partagé aussi dans un temps les doutes que MM. Plantamour et Hirsch ont émis au sujet de la dilatation plus ou moins régulière d'un étalon composé comme le barreau en bronze d'aluminium; aussi avais-je d'abord, dans le sein de la commission composée de M. Mousson, de M. Hirsch et de moi-même, fait la proposition de prendre

comme étalon une lame d'argent introduite dans la gorge profonde d'un barreau en laiton. Cependant après mûr examen, la construction ci-dessus indiquée de l'étalon normal nous parut présenter plus de garanties pour une dilatation fixe et régulière, cela d'autant plus qu'elle correspond à la construction habituelle des divisions fines et des limbes gradués auxquels les physiciens n'ont point jusqu'ici reconnu l'inconvénient de ne pas rester comparables à eux-mêmes. Du reste il a été fait, dans la seconde moitié de 1866 et la première de 1867, tant par moi que par MM. Mousson et Hirsch, un grand nombre de comparaisons entre l'étalon normal et d'autres étalons qui ne présentaient point l'inconvénient que l'on reproche au premier. Or ces comparaisons ont présenté entre elles, comme on peut le voir dans mon rapport, un accord si complet qu'on ne peut pas admettre qu'il se soit produit pendant ce temps des modifications appréciables dans l'étalon normal, pas même celles qui auraient pu provenir de la dilatation. Je crois donc pouvoir, jusqu'à plus ample informé, maintenir que les données renfermées dans mon travail au sujet de l'étalon normal en bronze d'aluminium du bureau fédéral des poids et mesures à Berne, conservent toute leur valeur, et que les nombreuses vérifications faites avec cet étalon ne doivent pas pour le moment être considérées comme inutiles.

Saint-Pétersbourg, 6 décembre 1870.

REMARQUES SUR LA NOTE PRÉCÉDENTE

M. le professeur Wild nous reproche dans cette Note la rédaction incomplète de notre travail sur la dilatation d'un barreau d'argent, cette rédaction incomplète ayant pu faire naître des doutes sur certaines données contenues dans son rapport sur la « Réforme du système des poids et mesures en Suisse, » et, par suite, nuire au but que l'on s'était proposé en fondant le bureau fédéral des poids et mesures. Si nous avons été amenés à soupçonner des irrégularités dans la dilatation de l'étalon de bronze d'aluminium, nous n'avons pas songé un seul instant à admettre la conséquence que ces petites irrégularités pussent compromettre en aucune façon le but essentiellement pratique, que l'on s'était proposé dans la réforme du système des poids et mesures et dans l'établissement du bureau fédéral. Nous étions tellement éloignés de l'idée qu'une pareille conséquence pùt en être tirée, que nous n'avons pas même songé à ajouter une déclaration explicative à ce sujet.

Nous n'avons pas inséré le détail des expériences qui nous avaient fait concevoir des doutes sur la régularité de la dilatation de l'étalon de bronze d'aluminium, et cela pour deux motifs : d'abord pour ne pas allonger notre mémoire par des détails étrangers à son but, ensuite parce que M. le professeur Paalzow, collaborateur dans ces expériences, avait quitté la Suisse, et qu'il nous paraissait plus convenable de ne pas publier les résultats d'expériences, auxquelles il avait pris une très-grande part, sans

nous être préalablement concertés avec lui. Maintenant que M. le professeur Wild réclame avec instance la publication de ces expériences, nous n'hésitons pas à satisfaire à son désir, et nous espérons que M. le professeur Paalzow voudra bien nous pardonner l'indiscrétion qui peut nous être reprochée.

M. le professeur Wild est complétement dans l'erreur lorsqu'il suppose que ces expériences ont été faites d'après la méthode qu'il qualifie d'inexacte, celle dans laquelle la température de la cave est alternativement élevée et abaissée, de façon à la rapprocher autant que possible de celle de l'auge ; il est par conséquent également dans l'erreur lorsqu'il ajoute que, s'il a bien compris M. Hirsch [1], c'est à l'emploi de cette méthode inexacte que nous attribuons les discordances entre les résultats obtenus. Ces expériences ont été faites d'après la même méthode, et en s'entourant des mêmes précautions que celles que M. le professeur Wild a décrites dans son Rapport, en particulier en ce qui concerne la constance de la température de la cave. Les premières ont été faites par M. le professeur Paalzow et par M. le Dr Fröhlich ; dans une première série, le 15 janvier 1869, où l'on a passé d'une température élevée à une température basse, la contraction du barreau a été trouvée, d'après les mesures de M. le professeur Paalzow,

pour 20°,463 de 0mm,3457 : coefficient, 0,00001689,

et d'après celles de M. le Dr Fröhlich,

pour 20°,557 de 0mm,3414 : coefficient, 0,00001661.

Dans une seconde série, faite le 19 et le 20 janvier, où l'on a passé d'une température basse à une tempéra-

[1] M. Hirsch repousse en effet formellement le sens dans lequel M. Wild croit avoir compris ses paroles.

ture élevée, la dilatation du barreau a été trouvée, d'après les mesures de M. le professeur Paalzow,
pour 17°,842 de 0mm,2959 : coefficient, 0,00001658.
et d'après celles de M. le Dr Fröhlich,
pour 17°,887 de 0mm,29725 : coefficient, 0,00001662.

La moyenne des quatre valeurs du coefficient de dilatation résultant de ces mesures est 0,00001667.5, avec une erreur moyenne de ±0,00000007.2. Quelques jours plus tard, du 25 au 27 janvier, une nouvelle série a été faite par MM. les professeurs Paalzow et Plantamour, en commençant par quatre mesures faites à une température basse, 4° environ, le 25 janvier au soir, après quoi de l'eau chaude fut introduite dans l'auge. Le lendemain matin, vers dix heures, nouvelle série de mesures faites par les deux observateurs, à deux reprises, et à une heure d'intervalle, à une température de 16° environ. Puis on ajoute encore de l'eau chaude, et, de 6 à 7 heures du soir, quatre séries de mesures furent faites à une température de 22°; immédiatement après, l'eau chaude fut remplacée par de l'eau froide et de la glace, et le lendemain, 27 janvier, cinq séries de mesures furent exécutées de 10 heures à midi, à une température de 2°,5 environ. La valeur du coefficient de dilatation calculée par la méthode des moindres carrés, à l'aide des dix-sept mesures faites à ces différentes températures, a été trouvée de 0,00001563.5 avec une erreur moyenne de ±0,00000011.2

La valeur moyenne de l'écart avec lequel le coefficient représente les dix-sept mesures est de ±0mm,0038.2 ; il est à noter en outre, que les plus grands écarts négatifs (maximum — 0mm,0078) se trouvent dans la première série, à la température basse de 4° environ, et les plus grands écarts positifs (maximum + 0mm,0072) dans la

dernière série, où la température était également basse 2°,5 environ, ainsi peu différente de celle de la première. Cette dernière valeur du coefficient de dilatation se rapproche, il est vrai, de celle que M. le professeur Wild a donnée dans son « Rapport, » savoir : 0,0000155770, avec une erreur moyenne de ±0,0000000068 ; mais il est impossible de concilier ces valeurs avec celle qui résulte des mesures faites par MM. Paalzow et Fröhlich, et dont il n'y a aucun motif de révoquer en doute l'exactitude dans les limites de son erreur moyenne.

On comprend ainsi l'embarras dans lequel nous nous trouvions de déduire le coefficient de dilatation du pendule de celui de l'étalon de bronze d'aluminium. En effet, il était impossible de songer à prendre une moyenne entre des valeurs aussi discordantes, et nous n'avions aucun motif pour rejeter les unes ou les autres. De plus, des mesures comparatives de la longueur du pendule et de l'étalon de bronze d'aluminium faites à des températures variant de 3°,5 à 25°,5 environ, avaient donné +0,000001700, avec une erreur moyenne de ±0,000000065 pour la différence du coefficient de dilatation du pendule et de celui de l'étalon de bronze d'aluminium ; en adoptant 0,00001558, pour celui-ci, d'après la détermination de M. le professeur Wild, on obtient 0,00001728 pour le coefficient de dilatation du pendule, chiffre très-inférieur à celui qui a été trouvé par d'autres physiciens pour le laiton, et qui ne permet pas du tout d'accorder entre elles les durées des oscillations du pendule faites à différentes températures. En partant de la valeur trouvée par MM. Paalzow et Fröhlich 0,00001667.5, on trouverait 0,00001837.5, chiffre qui se rapproche plus de celui adopté en général pour le

laiton, mais qui est encore trop faible pour obtenir l'accord le plus satisfaisant dans la durée des oscillations. Il n'y a rien de surprenant à ce que nous ayons conçu des doutes sur la régularité de la dilatation de l'étalon de bronze d'aluminium, en raison de sa composition et de sa construction, doutes que M. le professeur Wild dit avoir partagés lui-même dès l'origine.

Il nous reste enfin à relever l'expression dont M. le professeur Wild s'est servi, en qualifiant *d'inexacte* la méthode que nous avions d'abord suivie pour mesurer la dilatation du barreau d'argent. Ce terme (*unrichtige methode*) semblerait indiquer que, suivant lui, nous serions partis d'un principe faux en cherchant à rendre aussi peu différentes que possible la température du local et celle de l'auge, dans les différentes alternatives de réchauffement et de refroidissement de cette dernière. Il est évident que ce n'est pas un principe faux, parce que l'on tend ainsi à diminuer notablement l'une des causes d'erreur qui peuvent affecter les mesures de dilatation absolue faites avec le comparateur de Berne, savoir l'inégalité entre le degré indiqué par le thermomètre et la véritable température du barreau. Lorsque l'auge est à une température de près de 20° supérieure, ou inférieure de 8°, à celle du local, il est évident que sa température doit varier assez rapidement, comme on le voit d'après les expériences mêmes de M. le professeur Wild, relatées dans son Rapport (page 87 et suivantes). Ainsi, dans sa première détermination, le thermomètre placé à côté du barreau, marquait 33°,5 à 8 heures du matin, immédiatement après avoir introduit l'eau chaude; il était descendu à 22° à 1 heure, au moment où il a commencé les mesures, et la température a encore baissé

d'un dixième de degré pendant l'intervalle de temps employé à faire les lectures alternativement à chacun des microscopes; M. Wild n'indique pas la longueur de cet intervalle. La température de tout l'appareil n'étant pas constante, et ne pouvant évidemment pas rester constante, est-on fondé à supposer un équilibre complet de température entre la boule nue et non protégée d'un thermomètre très-sensible, et une masse aussi considérable que celle du barreau, les deux étant simplement placés l'un à côté de l'autre dans l'air ? Il y a évidemment dans ce défaut possible d'équilibre de température une cause d'erreur, que l'on atténue en rendant la température de tout l'appareil plus constante, ce qui est le cas lorsque la différence entre l'auge et le local est peu considérable. C'est en vue également d'obvier à ce défaut d'équilibre entre la température indiquée par le thermomètre, et la température réelle du barreau, que nous avons plongé les deux dans un liquide bon conducteur comme la glycérine, et que nous avons encastré la boule du thermomètre dans un cylindre en laiton ayant la même section que le barreau.

Maintenant la seconde cause d'erreur qui peut affecter la détermination de la dilatation absolue, est la variabilité des piliers, et, par suite, des microscopes supportés par eux; si par suite d'un léger mouvement des piliers, la distance qui sépare les deux microscopes n'est pas absolument invariable pendant la durée des expériences, il est évident que les changements mesurés dans la longueur du barreau sont affectés d'une erreur égale à la variation de distance entre les deux microscopes. En faisant varier la température de la cave dans les limites de 15 à 18 degrés dans le cours des expériences, on s'ex-

posait sans doute au danger d'augmenter la variabilité des piliers, mais dans quelles limites, c'est ce qu'il était impossible d'indiquer à priori ; aussi peu que l'on peut admettre à priori leur invariabilité absolue, même dans le cas où la température resterait à peu près constante. La constance, pendant un certain laps de temps, dans la position de piliers fondés avec les mêmes précautions, et dans ces deux alternatives, ou d'une température presque invariable, ou avec des variations d'un grand nombre de degrés, est un élément qui varie dans chaque cas particulier, et l'on ne peut pas se prononcer d'avance, et sans avoir fait des expériences directes à ce sujet, sur cette question : le mouvement des piliers, pendant le temps nécessité pour une détermination de la dilatation, est-il restreint à une fraction assez faible de la quantité totale dont la longueur du barreau a changé, pour que l'erreur sur le coefficient de dilatation ne dépasse pas le degré voulu d'exactitude, et cela dans cette double alternative, d'une température à peu près invariable, ou d'une température variant de 15 à 18 degrés ? Or nous n'avons trouvé dans le travail de M. le professeur Wild aucune indication sur ce sujet, soit qu'il n'ait pas fait ces expériences, soit qu'il ne les ait pas publiées ; il est certain que, s'il avait publié des expériences montrant à quel point des variations de température augmentaient le défaut de constance des piliers dans le comparateur de Berne, nous n'aurions pas songé à employer une méthode, qui n'est pas fausse en principe, mais qui pouvait, dans ce cas particulier, donner lieu à des erreurs considérables. Ces expériences ont été faites à notre demande l'hiver dernier par M. Hermann, et il en est résulté que, tant que la température de la cave reste invariable, ou à peu près, le mou-

vement des piliers pendant un intervalle de 2 à 3 jours est restreint à une quantité qui s'élève à $0^{mm},002$ de part et d'autre de leur position moyenne, soit de $0^{mm},004$ entre les extrêmes [1]. Cette variabilité de $\pm 0^{mm},002$ est une fraction assez petite du changement total de longueur du barreau, qui s'élève à 3 ou 4 dixièmes de millimètre, pour que l'on puisse obtenir le coefficient de dilatation à $\frac{1}{150}$, ou $\frac{1}{200}$ de sa valeur près ; mais l'on voit en même temps que cette cause d'erreur s'oppose à ce que l'on puisse atteindre avec le comparateur de Berne une exactitude plus grande dans une seule détermination. Lorsque la température de la cave est élevée de 15 à 18°, le mouvement des piliers est énormément augmenté, de manière à atteindre $0^{mm},02$, par suite, l'erreur sur le coefficient de dilatation s'élève à une quantité trop considérable.

Le meilleur moyen d'éliminer, pour ainsi dire, complétement la cause d'erreur résultant de la variabilité des piliers serait de rapporter la longueur du barreau mesurée à différentes températures, non pas à la distance supposée invariable entre les deux microscopes, mais à la longueur d'un autre barreau qui serait placé dans une auge séparée, maintenue à une température constante et voisine de 0 par l'adjonction de glace. Il faudrait ainsi placer, sur un même chariot mobile, les deux auges renfermant, l'une le barreau dont on veut déterminer la dilatation et dans laquelle l'on ferait varier la température ; l'autre le barreau devant servir de terme de comparaison, et dans laquelle la température pourrait être sans difficulté

[1] Les chiffres obtenus par lui (page 19 de notre mémoire), montrent que, ainsi que cela a lieu pour cette sorte de mouvements irréguliers, la variation pouvait être tout aussi forte, ou même plus forte, au bout d'un intervalle de quelques heures, que dans un laps de temps plus long.

maintenue constante, à quelques dixièmes de degrés près, en ajoutant de la glace à mesure qu'elle se fond. En amenant successivement, à l'aide du chariot mobile, les deux barreaux sous les microscopes, on mesurerait ainsi les différences de longueur entre le barreau, dont on veut déterminer la dilatation, à chaque degré de température auquel on a porté l'auge qui le renferme, et le barreau servant de comparaison, dont le très-faible changement de longueur pour quelques dixièmes de degrés pourrait être calculé avec une exactitude très-suffisante avec une valeur même approchée de son coefficient de dilatation. Il serait même facile d'éliminer complétement toute erreur provenant d'une incertitude sur cette donnée, en faisant une seconde série d'expériences dans laquelle le rôle du barreau, dont on veut déterminer la dilatation, et de celui qui sert de terme de comparaison seraient échangés, et en combinant les deux séries entre elles. Il est évident que, dans ce mode d'opérer, l'intervalle de temps, pendant lequel on doit supposer la constance dans la distance qui sépare les deux microscopes, est réduit à celui qui s'écoule entre la lecture faite pour le premier barreau, et celle faite pour le second; de plus, en faisant après celle-ci une nouvelle lecture pour le premier barreau, on aurait un contrôle de la constance des piliers pendant l'opération. Nous ne pouvons malheureusement pas essayer ce mode d'expérimentation avec le comparateur de Berne, la nature du local ne se prêtant pas à un pareil arrangement.

E. Plantamour.
A. Hirsch.

QUELQUES

OBSERVATIONS SUR UN CHAMPIGNON

QUI ATTAQUE

LES PARTIES SOUTERRAINES DE LA VIGNE

PAR

M. le Professeur J.-B. SCHNETZLER.

Dans le vignoble de La Vaux, surtout dans les environs de Cully (canton de Vaud), on signale depuis quelques années l'existence d'un champignon qui se développe sur les racines et les autres parties souterraines de la vigne. Ce cryptogame parasite. connu vulgairement sous le nom de moisi, de blanc, etc., n'est pas d'origine récente dans le vignoble vaudois, et il n'est pas limité à celui de La Vaux; on le rencontre dans tout le vignoble à l'état sporadique, et les vignerons le voient souvent lorsqu'ils arrachent de la vieille vigne. D'autres végétaux, qui se trouvent dans le même terrain, sont également attaqués par le même parasite; par exemple, des abricotiers, des poiriers, des figuiers, des haricots, carottes, etc. A Cully, le mal se montre depuis sept à huit ans de manière à attirer l'attention des propriétaires et des vignerons. Mr M., propriétaire de vignes et observateur très-judicieux, avait vu d'abord trois ceps frappés du mal; autour d'eux, la maladie s'est propagée en rayonnant tout autour de ce centre d'infection. Les murs n'arrêtent pas le mal; il se montre même plus intense sur les ceps plantés contre les murs. Les feuilles des ceps malades deviennent jaunes, le bois se dessèche et la plante tout entière meurt. Lorsqu'on arrache un des ceps malades, mourants ou morts, on voit les racines et toutes les parties souterraines couvertes de moisissures

blanches, qui s'insinuent sous l'écorce et qui pénètrent jusqu'à la moelle. M. le Dr du Plessis, qui, le premier, a examiné cette moisissure sous le microscope, l'a fort bien décrite dans un rapport adressé à la Société vaudoise d'Agriculture: il la range dans l'ordre des Mucédinées, sans se prononcer sur le genre et l'espèce. Le mycélium est formé par des filaments très-minces, non cloisonnés, ou avec des cloisons fort distantes ; ces filaments, fortement enchevêtrés, forment souvent à eux seuls toute la moisissure ; par exemple, sur des échalas pourris ou sur des matières fermentescibles placées en terre, comme du marc de raisins, des coques de marrons, etc. Sur les parties souterraines des vignes malades, il se développe sur le mycélium des filaments cloisonnés beaucoup plus larges: les uns se composent de cellules cylindriques, renflées en forme de massue au point de contact avec la cellule suivante: ces filaments à cellules claviformes se terminent par des cellules cylindriques non renflées, qui forment l'extrémité plus ou moins effilée du filament. A côté de ces filaments à cellules claviformes se trouvent d'autres filaments à cellules entièrement cylindriques, mais du même diamètre que les cellules claviformes avant leur renflement. A l'extrémité des cellules claviformes, nous voyons souvent deux cellules, dont chacune forme le commencement d'un rameau. Cependant cette dichotomie ne présente rien de constant, ni de régulier. Les cellules cylindriques et claviformes développent souvent des excroissances latérales qui forment de nouveaux rameaux. J'ai quelquefois observé entre les bourgeons latéraux de deux filaments rapprochés une véritable soudure, une sorte de conjugaison. Notre moisissure peut ainsi se propager longtemps sous terre, sans produire de véritables spores.

Des ceps malades, plongés dans l'eau par leur extrémité inférieure, se couvrirent bientôt de nouvelles moisissures entre l'écorce et le bois; mais cette nouvelle végétation, qui se formait ainsi à l'air, était produite par un autre champignon que celui qu'on trouve sur les racines des ceps malades : c'était le *Selenosporium herbarum*, Cord., qui se développe souvent sur les feuilles et les écorces mortes.

Des fragments de racines de poirier, couverts de la même moisissure que nous avions trouvée sur la vigne malade, furent placés dans un flacon légèrement bouché. Ces racines étaient desséchées et leur moisissure flétrie. Pour introduire de l'humidité dans le flacon, on y versa une petite quantité d'eau. Exposées à la lumière diffuse du jour, ces racines se couvrirent bientôt, à leur partie supérieure, de jolies huppes blanches, qui peu à peu passaient au gris verdâtre. De mêmes huppes de moisissure couvrirent la surface inférieure du bouchon, quoique celui-ci ne fût pas en contact avec les racines. Sous le microscope, je retrouvai dans ces moisissures les cellules cylindriques et claviformes du champignon de la vigne, belles, vigoureuses, en pleine végétation; mais cette fois accompagnées de petites cellules globuleuses, libres ou accolées aux filaments de la moisissure. Ces globules sont tantôt isolés, tantôt deux à deux, quelquefois par quatre ou en groupes plus nombreux. A mesure que cette moisissure est exposée à l'air libre, elle noircit, et ses filaments présentent sous le microscope la couleur de la sépia. Les globules dont nous venons de parler, sont évidemment les corps reproducteurs de cette phase du champignon; ils jouissent de la propriété de se mouvoir rapidement dans l'eau. Comme je n'ai pu trouver ni

Anthéridies, ni Oogonium, je regarde ces petits corps reproducteurs comme des Conidies, ou spores, non fécondées, formées par simple division des cellules de champignon. La moisissure qui attaque les parties souterraines de la vigne, des poiriers, abricotiers, haricots, etc., nous apparaît comme la phase d'un champignon dont les filaments se reproduisent pendant quelque temps dans la terre par bourgeonnement, peut-être par conjugaison. Sous l'influence d'un plus libre accès de l'air et d'une certaine dose de lumière, ils forment des Conidies, qui, à leur tour, reproduisent du mycélium et la phase prolifique par bourgeonnement.

M. J.-E. Plauchon, de Montpellier, auquel j'avais demandé quelques renseignements sur la maladie qui a frappé les vignobles des départements riverains du Rhône, me répondit à ce sujet : « Cette maladie, qui menace d'une ruine complète nos départements méridionaux, n'a rien de commun avec les altérations produites sur les racines de la vigne par les végétaux cryptogames. D'après les indications que vous me donnez sur les caractères de l'une de ces productions, elle semble rentrer dans le groupe de ces mycélium indéterminés qui font périr beaucoup d'arbres (notamment des poiriers) dans certains sols, et que les jardiniers appellent du nom vague de Rhizoctone. Dans notre région, bien des ceps de vigne, même sains, ont sur leurs racines des filaments de mycélium, qui ne semblent vivre que sur les portions mortifiées du périderme, sans altérer sensiblement la vitalité de la plante. » M. Plauchon attribue, en revanche, la mort de ceps de vigne, plantés sur des terres où l'on a défriché des chênes verts, à un champignon du genre Polypore. Les filaments byssoïdes, observés par A.-P. de

Candolle sur des racines de poiriers et d'amandiers, appartiennent probablement au même champignon qui attaque nos ceps de vigne.

Nous voyons ainsi un champignon être la cause immédiate de la mort d'un certain nombre de végétaux. Nous n'avons pas l'intention d'étudier ici les causes plus éloignées qui favorisent l'existence de ce champignon et son développement sur certaines plantes. Mais ce qu'il y a d'important, au point de vue de l'horticulture et de la viticulture, c'est de savoir l'origine du cryptogame parasite.

Certaines observations semblent indiquer qu'il vient du dehors, à travers les couches superficielles de la terre. Dans le vignoble de Cully, par exemple, des sarments de vigne couchés en terre pour un marcottage, furent attaqués dans la partie placée dans la couche superficielle du terrain, tandis que les racines et souches plus profondes du cep étaient encore parfaitement saines et sans trace de moisissure. Une autre expérience paraît prouver que les corps reproducteurs du champignon développent d'abord leur mycélium sur des matières en décomposition ou en fermentation. Du marc de raisin et des coques de marrons (marronnier d'Inde) qui ne présentaient aucune trace de moisissure, furent mis en terre ; ils se couvrirent bientôt d'un abondant mycélium qui se transmit aux ceps de vigne voisins et les fit périr. Un cep vigoureux de six ans fut inoculé avec la moisissure provenant d'un cep malade ; l'opération eut lieu le 24 juin 1870.

Le 9 septembre de la même année, le cep inoculé était encore parfaitement sain et sans aucune trace de moisissure, tandis que l'échalas, qui soutenait le cep, avait sa face tournée contre ce dernier complétement couverte de moisissure.

Sans admettre toutes les métamorphoses merveilleuses résultant des travaux de Hallier, on pourrait chercher, dans plusieurs champignons, l'origine de la forme à Conidies qui se développe sur les racines de la vigne, etc. En automne, par exemple, nous voyons quelquefois s'élever en l'air de véritables nuages de spores qui proviennent de raisins pourris et desséchés ou de grains de raisins tombés à terre. La moisissure qui envahit le raisin pourri est le *Penicillium glaucum*. Je n'ai cependant pas encore pu découvrir un lien génétique entre cette forme et celle de notre moisissure [1].

D'après les travaux de M. De Barry, nous trouvons peut-être la forme type de notre champignon dans le genre Peziza. Sur les feuilles flétries de la vigne, l'on voit en automne le Sclerotium de *Peziza Fuckeliana* qui forme des taches de couleur brune. Le Sclerotium n'est pas, comme on l'a cru autrefois, une forme d'un groupe particulier de champignons : il représente une phase de développement d'espèces appartenant aux groupes les plus divers ; il est formé par un mycélium dont les cellules allongées (Hyphæ) se sont fortement enchevêtrées, formant ainsi un corps dur arrondi ou aplati. Le champignon passe ainsi un certain temps à l'état de repos, jusqu'à ce que, plus tard, il se développe des corps reproducteurs aux dépens de la matière du Sclerotium. Lorsqu'on place le Sclerotium de *Peziza Fuckeliana* des feuilles de vigne sur de la terre humide, il en sort déjà au bout de vingt-quatre heures des filaments à Conidies : ces filaments ne sont pas autre chose que la forme que l'on décrivait autrefois sous le nom de *Botrytis cinerea*.

[1] Je ferai la même observation sur *Mucor mucedo*, qui se développe si facilement sur le fumier de cheval.

Lorsqu'on place le même Sclerotium à un centimètre de profondeur en terre, il se forme l'été suivant des petites coupes (Peziza) qui produisent des Ascospores. Les Conidies provenant des filaments de Botrytis produisent toujours de nouveau le *Botrytis cinerea*.

J'ai observé, l'automne passé (1870), des feuilles de vigne provenant d'un vignoble infesté par la maladie ; elles étaient couvertes de taches brunes formées par le Sclerotium de *Peziza Fuckeliana*. Après avoir placé ces feuilles sur de la terre humide, j'ai vu apparaître une abondante moisissure de *Botrytis cinerea*. Ses filaments cloisonnés présentent une certaine ressemblance avec ceux du champignon de la vigne ; ses cellules présentent les mêmes excroissances latérales ; on aperçoit des cellules en chapelets qui ont quelque analogie avec les cellules claviformes ; mais, malgré ces analogies avec le champignon de la vigne, le Botrytis en diffère par l'absence de vraies cellules claviformes si caractéristiques pour la moisissure des ceps malades. Cependant, au milieu des filaments à Conidies de Botrytis, j'ai constaté, d'une manière indubitable, des filaments à cellules claviformes identiques avec ceux que j'avais si souvent observés sur la vigne malade. Je dois ici faire observer que la terre sur laquelle les feuilles de vigne furent placées n'était pas de la terre de vigne. Ces filaments à cellules claviformes se trouvaient-ils là par hasard au milieu des filaments de Botrytis provenant du Sclerotium d'un Peziza. Ne représentent-ils pas plutôt une forme équivalente à ce Botrytis et la moisissure qui envahit les parties souterraines des vignes malades n'est-elle pas une phase de développement d'un Peziza ?

RECHERCHES CALORIMÉTRIQUES

PAR

M. R. BUNSEN [1].

1. *Le calorimètre à glace.*

Les méthodes calorimétriques, dont on a fait usage jusqu'ici, ont toutes l'inconvénient d'exiger des quantités comparativement grandes du liquide calorimétrique, ainsi que de la substance soumise à l'expérience, pour que la perte de chaleur inévitable dans ces déterminations, et avec elle les corrections qu'elle nécessite soient aussi petites que possible relativement à la quantité totale de chaleur qu'il s'agit de mesurer. En suivant les méthodes ordinaires pour déterminer les chaleurs spécifiques, on ne peut guère, en effet, s'attendre à un résultat satisfaisant si l'on n'opère pas au moins sur 10 à 40 grammes de matière. Les substances rares offrent des difficultés presque insurmontables quand il s'agit de les obtenir en pareille quantité à l'état de pureté parfaite ; cela seul suffit pour expliquer pourquoi nous ne connaissons pas encore la chaleur spécifique de tous les corps élémentaires qu'on a jusqu'ici réussi à isoler, bien que ces déterminations soient d'une importance capitale pour établir le poids atomique.

L'instrument que nous allons décrire est destiné à parer à cet inconvénient. Le principe d'après lequel il est construit consiste à déduire la mesure de la quantité de

[1] *Poggendorff's Annalen*, 1870, CXLI, p. 1.

glace fondue, dans le calorimètre, de la diminution de volume que cette glace a éprouvée.

Cet instrument, fig. 1, pl. I, qui se fait à la lampe d'émailleur, se compose d'un tube de verre *a*, qui a la forme d'un tube à réaction, et qui est soudé à la lampe dans le réservoir de verre *b*. Ce réservoir *b* se termine par un tube de verre *c*, qui, à son extrémité supérieure, est muni d'une douille en fer *d*, fixée avec du mastic. Le tube intérieur *a* est rempli d'eau bouillie de α à ω, ainsi que le réservoir extérieur *b* de β à λ; le reste du réservoir *b* et le tube *c*, jusqu'au niveau γ, sont remplis de mercure bouilli. Lorsqu'il s'agit de disposer l'instrument en vue d'une expérience, on produit dans le réservoir *b* un cylindre de glace qui enveloppe le tube *a*; on place ensuite tout l'appareil dans un grand vase, plein de neige, puis on introduit le tube gradué *s* à travers le mercure qui remplit la douille *d* dans l'extrémité du tube *c*. Ce tube a été mastiqué préalablement avec de la cire à cacheter fine dans le bouchon *k* qui ferme exactement l'extrémité de *c*. Par cette opération une portion du mercure pénètre dans le tube gradué. Afin de pouvoir bien serrer le bouchon dans le tube *c*, sans danger pour l'appareil qui est un peu fragile, on fixe ce dernier à un lourd pied en fer, au moyen d'une presse à vis, dont les mâchoires entourent et serrent fortement la partie inférieure de la douille de fer *d*.

Pour déterminer la quantité de chaleur qu'un corps abandonne en passant de la température qu'il possède à 0° C., on le laisse tomber dans l'eau du tube *a*, dont on ferme aussitôt l'ouverture δ par un bouchon, de manière à empêcher tout renouvellement d'air. Lorsqu'il s'agit de faire des mesures comparatives entre différentes quantités

de chaleur, comme dans les déterminations de chaleurs spécifiques, on obtient immédiatement ces mesures par le nombre de graduations dont le filet de mercure s'est abaissé dans les différents cas. Si l'on désire, au contraire, que la lecture du tube gradué donne une mesure absolue, par exemple en grammes de glace fondue ou en calories, et par calories nous entendrons, dans la suite de ce travail, la quantité de chaleur qu'absorbe 1 gramme d'eau à 0° C. pour s'élever à 1° C., il suffit de multiplier les indications de la graduation par une constante, qui s'obtient à l'aide de la considération suivante :

Supposons qu'une colonne de mercure, mesurée dans le tube gradué, pèse g grammes à une température t et occupe T divisions corrigées d'après la table de calibrage; supposons, en outre, que s_q représente la pesanteur spécifique du mercure à 0° C., et a son coefficient de dilatation, on aura pour le volume v d'une division de la graduation exprimée en centimètres cubes,

$$v = \frac{g\,(1+at)}{s_q\,T}.$$

L'instrument que j'ai employé donne les valeurs suivantes :

$$g = 0{,}5326$$
$$a = 0{,}0001815$$
$$t = 9°\ C.$$
$$s_q = 13{,}596$$
$$T = 507{,}4$$

par conséquent

$$v = 0{,}00007733 \text{ centimètres cubes} \ldots\ldots\ (1)$$

Si l'on désigne par s_e la pesanteur spécifique de la glace à 0° C., par s_w la pesanteur spécifique de l'eau à

la même température, par p le poids en grammes de la glace qui a dû être fondue dans l'appareil pour qu'il se produise une contraction v, c'est-à-dire d'une division de la graduation, on a

$$\frac{1}{\frac{1}{s_e} - \frac{1}{s_w}} = \frac{p}{v}$$

ou

$$\frac{v\, s_w\, s_e}{s_w - s_e} = p \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Nous possédons un grand nombre d'observations sur la pesanteur spécifique de la glace; mais l'on jugera du peu d'accord qu'elles présentent par les valeurs obtenues pour s.

Thomson	a trouvé	0,920	
Heinrich	»	0,905	
Osan	»	0,927	
Royer et Dumas...	»	0,950	
Brunner	»	0,918	
Plucker et Geissler.	»	0,920	
Kopp	»	0,908	
Dufour...........	»	0,922	(maximum).
Dufour...........	»	0,914	(minimum).

Le désaccord qui existe entre les résultats de ces différents observateurs m'a mis dans la nécessité, pour le calcul de la constante p, de déterminer la valeur de s avec une plus grande exactitude qu'il n'a été possible de le faire jusqu'à présent. J'ai employé, dans ce but, le procédé suivant, qui écarte complétement les sources d'erreurs qui ont rendu incertaines les déterminations antérieures. La fig. 5, pl. I, représente un tube en U en verre dur et à parois épaisses, qui en *a* est étiré en pointe, tout en conservant encore une épaisseur suffisante. On remplit ce

tube jusqu'au niveau b_1 b avec du mercure que l'on fait bouillir comme pour un baromètre; puis, après avoir adapté un petit tube de caoutchouc à la pointe effilée *a*, on introduit dans la branche *a b*, au-dessus de *b*, une petite quantité d'eau distillée privée d'air, ce qui se fait facilement en échauffant l'air de cette branche et en la laissant ensuite se refroidir pendant que le tube de caoutchouc plonge dans l'eau. En faisant ensuite bouillir pendant une demi-heure l'eau introduite, tandis que l'extrémité *c* du tube de caoutchouc plonge dans de l'eau qu'on entretient en ébullition, l'on réussit, dès qu'on interrompt l'ébullition au point *b*, à remplir entièrement la branche *a b* avec de l'eau parfaitement privée d'air. On bouche alors sous l'eau le tube de caoutchouc avec un petit bouchon de verre, et l'on ferme la lampe en *a* à la partie étirée du tube de verre; ce qui se fait facilement sans chalumeau, à l'aide d'une flamme de gaz non lumineuse, si l'on a soin d'échauffer le tube jusqu'à ce qu'il ne renferme plus que de la vapeur à sa partie supérieure. Si l'on a pesé l'appareil avant l'introduction de l'eau, et qu'on le pèse de nouveau après avec la pointe qui en a été détachée et qu'il convient pour cela de bien sécher, on obtient le poids de l'eau enfermée dans l'appareil. On remplit ensuite complétement la branche ouverte avec du mercure bouilli, et cela au moyen d'un long fil de verre creux et capillaire pour éviter que des bulles d'air adhèrent au tube. Quand on expose l'appareil à l'air libre au-dessous de 0° C., il se forme dans le tube de verre un tube de glace correspondant, qui se ferme par places et qui contient encore de l'eau enveloppée par de la glace. Pendant la congélation des dernières parties d'eau, la glace déjà formée est exposée à une pression très-élevée, qui peut notablement

modifier la pesanteur spécifique de la glace, et qui peut même faire sauter le tube de verre, bien que ce dernier supporte une pression de 80 atmosphères. Pour éviter cet inconvénient et obtenir que la congélation s'effectue tout le temps à la même pression, il suffit simplement de plonger tout l'appareil dans de la sciure de bois fine, et de n'exposer que la partie supérieure *a* à l'air au-dessous de 0° C. : toutefois, pour éviter la congélation trop rapide résultant d'une surfusion, il faut préalablement, par un fort refroidissement, produire en *a* une masse de glace qu'on laisse ensuite peu à peu, par la fusion, se réduire à un petit grain. La congélation se propage alors très-régulièrement de *a* vers *b*, et peut être réglée très-facilement, en sortant au fur et à mesure de la sciure de bois, la branche qui contient l'eau. Le cylindre de glace présente à sa partie inférieure une concavité demi-sphérique très-régulière, qui progresse sans altération jusqu'à ce que les bords viennent toucher le mercure en *b*, et que les dernières parcelles d'eau soient congelées. Après que la congélation est terminée, on laisse l'appareil pendant quelque temps exposé à une température inférieure à 0° C. pour que les dernières traces d'eau, qui peuvent encore se trouver en *b* entre le mercure et la paroi de verre, se gêlent. Le cylindre de glace qu'on obtient de la sorte est entièrement dépourvu de bulles d'air et peut se comparer, pour la limpidité et la transparence, au verre de cristal le plus pur. On adapte ensuite l'appareil B au moyen d'un bon bouchon *e* à la branche ouverte de l'appareil A, de manière qu'il ne subsiste pas trace d'air entre le bouchon et le mercure, opération qui oblige le mercure déplacé à se réfugier par le tube capillaire *f* dans le réservoir de mercure *g*. Ce tube capillaire est mastiqué avec de la cire à

cacheter très-fine dans le bouchon *e* bien ajusté et dépourvu de pores. Il est inutile de mastiquer ce bouchon avec de la cire à cacheter au tube plus large dans lequel il entre, parce que, d'après les expériences directes que j'ai faites pour m'en assurer, on n'a à craindre ni son déplacement, ni des effets d'élasticité. Ainsi disposé, l'appareil est placé dans une chambre dont la température est aussi constante que possible, et entouré de tous côtés, jusqu'au-dessus du bouchon, d'une couche épaisse de neige, préalablement exposée à une température supérieure à 0° C., de façon à être rendue plastique, sans toutefois être pénétrée d'eau. Quand, après 6 ou 12 heures, tout l'instrument a acquis la température de 0° C., on sépare le réservoir de mercure du bouchon *h*, on le pèse, et, après avoir soigneusement enlevé les gouttelettes de mercure qui pouvaient adhérer au tube capillaire, on le remet à sa place. Après cela, on retire l'appareil de son enveloppe de neige, on fait fondre la glace en l'exposant au rayonnement d'une flamme de gaz non lumineuse placée tout auprès, puis on le remet dans la neige pour lui faire reprendre la température de 0° C. On enlève de nouveau le réservoir de mercure, et on le pèse. La différence entre les deux pesées donne le poids d'une certaine quantité de mercure qui a passé du réservoir dans le tube capillaire. Le volume de cette masse de mercure, réduit à 0° C., représente la diminution de volume que le cylindre de glace à 0° C. a éprouvé par sa fusion partielle en eau à 0° C. Si

G_w est le poids de l'eau gelée,

G_q le poids du mercure déplacé par suite de la fusion de la glace,

s_w la pesanteur spécifique de l'eau à 0° C.,

s_q la pesanteur spécifique du mercure à 0° C.,

s_e la pesanteur spécifique de la glace à 0° C.,

on a

$$\frac{G_q}{s_q} + \frac{G_w}{s_w} = \frac{G_w}{s_e}$$

par conséquent

$$\frac{s_w G_w}{G_w + \frac{s_w}{s_q} G_q} = s_e$$

Il m'a semblé superflu de faire plus de trois expériences, en présence de l'extrême exactitude que comporte cette méthode. Dans la première expérience, l'eau a gelé entre —3° C. et —5° C., dans la seconde entre —1° C. et —3° C., et dans la troisième entre 0° C. et —2° C. Voici les poids réduits au vide qu'on a trouvé :

	$G_w = 14,1580$	grammes
1re expérience....	$G_q = 17,4400$	»
2me expérience....	$G_q = 17,4624$	»
3me expérience....	$G_q = 17,4757$	»

Si l'on suppose, en outre,

$$s_w = 0,99988$$
$$s_q = 13,59600$$

on obtient pour la pesanteur spécifique de la glace s_e :

1re expérience	0,91682
2me expérience	0,91673
3me expérience	0,91667
Moyenne des trois expériences....	0,91674

Par conséquent, pour les valeurs qui se trouvent dans l'équation (2) :

$$p = \frac{v\, s_e\, s_w}{s_w - s_e}$$

on obtient

$$v = 0,00007733$$
$$s_e = 0,91674$$
$$s_w = 0,99988$$

ce qui donne

$$p = 0{,}00085257.$$

Le poids e de la glace fondue, exprimé en grammes, et correspondant à T divisions corrigées de la graduation, est par conséquent

$$e = 0{,}00085257\ \mathrm{T} \ldots\ldots\ldots\ldots\ (3)$$

Si l'on désigne par l la chaleur latente de fusion de l'eau, *une* division correspond à pl, unités de chaleur telles qu'elles ont été définies plus haut. Pour la quantité de chaleur w, que T divisions indiquent, on a

$$w = p\,l\,\mathrm{T}$$

ou bien, si l'on remplace l par la valeur qu'on a trouvée dans la suite de ce travail,

$$w = 0{,}068227\ \mathrm{T} \ldots\ldots\ldots\ldots\ (4)$$

Comme le cylindre de glace qui entoure le tube *a*, fig. 1. pèse 40 à 50 grammes, tandis qu'à chaque expérience on ne fond guère plus de 0,35 grammes de glace, qui correspondent à un peu plus de 400 divisions, il s'en suit que l'on peut faire avec le même cylindre de glace plus de 100 déterminations calorimétriques, et que l'appareil, une fois monté, peut servir pendant des semaines, pourvu que, matin et soir, on entretienne l'enveloppe de neige dans son état primitif et normal.

La fig. 2 rend compte du procédé à l'aide duquel on peut se procurer facilement le cylindre de glace : A est un flacon contenant de l'alcool, B un flacon de fer-blanc vide; l'un et l'autre sont plongés dans un mélange réfrigérant de sel et de neige, qui les refroidit à —20° C. C représente le tube intérieur *a* de la fig. 1, autour duquel il s'agit de produire le cylindre de glace. Quand on produit une aspiration en *a*, l'alcool du vase A pénètre

par le tube C dans le vase B; quand, au contraire, on aspire en *b*, l'alcool revient par le tube C dans le vase A. Par des aspirations successives en *a* et en *b*, que l'on prolonge à volonté, on arrive, par le renouvellement continuel de l'alcool refroidi, à maintenir le tube C jusqu'à la hauteur α, à une température comprise entre —10° C. et —15° C., et à produire l'enveloppe de glace autour du tube C, par la congélation de l'eau représentée en *b* dans la fig. 1. J'ai donné à ce générateur de glace la forme représentée par la fig. 3 : les deux vases de fer-blanc demi-cylindriques *a* et *b* qui communiquent l'un avec l'autre, et avec le tube *a*, par le haut et par le bas, au moyen de tubes, correspondent au flacon A, fig. 2, les deux autres vases de fer-blanc tout semblables placés vis-à-vis et qui sont représentés en *c*, correspondent au flacon B de la fig. 2. Ces deux vases, offrant chacun deux chambres concentriques, présentent, comme on voit, une grande surface de refroidissement, et plongent dans le même mélange frigorifique. La disposition du système de tubes fig. 3, au moyen duquel on opère la circulation de l'alcool refroidi, est facile à saisir, parce qu'on a désigné les tubes de caoutchouc représentés dans la fig. 3 par les mêmes lettres que les tubes correspondants dans la fig. 2. L'aspiration, dans un sens et dans l'autre alternativement, s'effectue par le robinet H à trois voies, qui communique au moyen du tube de caoutchouc *w* avec une pompe pneumatique à eau. Dans une des positions, ce robinet établit la communication d'une part entre le tuyau *q* et le tube d'aspiration *w*, d'autre part entre le tuyau *p* et l'air extérieur; dans l'autre position, le tube d'aspiration *w* communique au contraire avec le tuyau *p* et *q* avec l'air extérieur. Avec cette disposition, la géné-

ration du cylindre de glace devient une opération très-simple : On place l'appareil frigorifique, avec les tubes de caoutchouc, dans le mélange froid, on adapte p et q au robinet H, w à la pompe pneumatique à eau, on enfonce le bouchon de caoutchouc, muni de ses tubes de caoutchouc m et n, en C dans le cylindre intérieur de l'appareil, enfin, on adapte les tubes m et n aux tubes de verre correspondants de l'appareil frigorifique. En tournant le robinet H, tantôt dans un sens tantôt dans l'autre, après avoir préalablement ouvert le robinet de la pompe pneumatique, on peut faire agir le courant d'alcool refroidi aussi longtemps que cela est nécessaire pour produire le cylindre de glace. La formation de ce dernier dans un appareil, qui, on le voit, est complétement à découvert, peut être suivie très-bien soit à l'œil nu soit à l'aide d'une lunette, et présente des particularités qui ne sont pas sans intérêt. La température de l'eau entièrement privée d'air qui se trouve dans le vase extérieur b, fig. 1, s'abaisse graduellement fort au-dessous de 0° C. sans que l'eau se solidifie, tandis que la surface extérieure du verre se recouvre d'une croûte de glace, due à la condensation de l'humidité de l'air ; d'assez forts ébranlements ne parviennent même pas à mettre un terme à cette surfusion. Quand enfin la température s'est considérablement abaissée, la congélation s'opère subitement, et se propage en quelques secondes de λ à μ. Tout le vase, jusqu'à cette limite inférieure, se remplit d'une infinité de lamelles et d'aiguilles d'une glace laiteuse, opaque, tandis que l'eau comprise entre μ et β, qui est le niveau du mercure, n'est pas gelée. Ce n'est qu'à partir de ce moment, et en continuant le refroidissement que la formation du cylindre de glace commence ; on le laisse

croître jusqu'à ce qu'il ait acquis une épaisseur de 6 à 10 millimètres. L'enveloppe de glace, dans sa portion inférieure à μ, est très-régulière, parfaitement amorphe, limpide et transparente comme le verre de cristal le plus pur; la portion supérieure entre μ et λ est trouble et présente une texture semblable à des fibres grossières enchevêtrées; quand l'appareil, une fois mis en jeu, a séjourné plusieurs jours dans de la neige à 0° C., cette texture fibreuse grossière disparaît complétement : la masse de glace entre μ et λ se trouve alors composée de grains sphériques unis et transparents. Si, après un long usage, on expose l'appareil à la chaleur de la chambre, ces granules fondent à la surface, se détachent des parties voisines, s'élèvent dans le liquide, et présentent parfois un arrangement qui rappelle les champignons de la levure.

Pour se familiariser avec les phénomènes qui accompagnent la formation de la glace, en tant qu'ils jouent un rôle dans l'emploi de l'instrument, on a observé pendant un temps prolongé le calorimètre muni de son cylindre de glace, et soigneusement entouré de neige. Dans ce but, comme pour toutes les expériences subséquentes, le calorimètre était placé dans un grand vase à décanter en terre, muni à sa partie inférieure d'une ouverture pour laisser passer continuellement, goutte à goutte, l'eau qui résultait de la fusion de la neige, de façon que la partie inférieure de l'appareil ne fût jamais en contact avec l'eau formée. L'instrument se recouvre très-vite d'une croûte continue de givre. Quand au bout de douze à quinze heures, il s'est formé, par la fusion extérieure du givre, un espace libre contre la paroi du vase de terre, on augmente cet espace en enlevant, avec une spatule de bois, le givre cohérent, mais non compacte qui le borde,

et qu'on introduit dans le vide qui s'est formé sous le calorimètre, en ayant soin de remplacer la neige fondue par de la nouvelle.

La première expérience a été faite avec de la neige fraîchement tombée, prise à la partie supérieure d'une couche de neige propre, dans laquelle ne se trouvait aucune impureté provenant de la surface de la terre. On en avait fait une provision de quelques quintaux dans une grande caisse de bois. Avec une semblable provision, qui permet de remplacer deux fois par jour la neige fondue dans le calorimètre, on peut entretenir ce dernier en fonction pendant des semaines sans qu'il soit nécessaire de renouveler le cylindre de glace.

Pendant toute la durée des observations, qui prirent cinq jours, le tube intérieur, enveloppé du cylindre de glace, fut fermé par un bouchon de caoutchouc, et l'appareil tout entier, sauf la graduation, fut plongé dans la neige fondante. La température de la chambre, dans laquelle on opérait, variait entre $0^{\circ},5$ C. et 6° C. Les résultats des expériences sont réunis dans le tableau I ci-dessous. Dans la première colonne I, on a marqué le temps des observations en heures; dans la colonne II, les indications de la graduation du calorimètre, correspondant à ces temps; les valeurs accompagnées d'un astérisque sont celles qui ont servi, par interpolation, à calculer les autres. Jusqu'à la trente et unième heure on a pesé le mercure qui sortait du tube gradué, et les poids étaient convertis en degrés de l'échelle au moyen de l'équation (1). La colonne III a été calculée à l'aide de l'équation (3), et donne le poids exprimé en grammes de la glace qui s'est formée dans l'instrument depuis le commencement de l'expérience.

Tableau 1.

I.	II.	III.	I.	II.	III.	I.	II.	III.
0	0,0	0,0	41	2739,8	2,3358	82	2810,5	2,3961
1	633,8	0,5404	42	2740,3	2,3363	83	2811,6	2,3971
2	1267,6	1,0807	43	2740,8	2,3367	84	2812,8	2,3981
3	1901,4*	1,6211	44	2741,3	2,3371	85	2813,9	2,3990
4	2033,1	1,7334	45	2741,8*	2,3376	86	2815,0	2,4000
5	2164,8	1,8456	46	2743,3*	2,3389	87	2816,1	2,4009
6	2296,5	1,9579	47	2744,7	2,3401	88	2817,2	2,4018
7	2428,2*	2,0702	48	2746,2*	2,3413	89	2818,4	2,4029
8	2443,4	2,0832	49	2747,0	2,3420	90	2819,5	2,4038
9	2458,6	2,0961	50	2747,8	2,3427	91	2820,6*	2,4048
10	2473,8	2,1091	51	2748,6	2,3434	92	2822,2	2,4061
11	2489,0	2,1220	52	2749,4	2,3441	93	2823,9*	2,4076
12	2504,2*	2,1350	53	2750,3*	2,3448	94	2825,1	2,4086
13	2528,6	2,1558	54	2751,6*	2,3460	95	2826,4	2,4097
14	2553,0	2,1766	55	2753,0*	2,3471	96	2827,6*	2,4107
15	2577,4	2,1974	56	2754,4	2,3483	97	2828,9	2,4118
16	2601,8	2,2182	57	2755,8*	2,3495	98	2830,2	2,4130
17	2626,2	2,2390	58	2758,0	2,3514	99	2831,6	2,4141
18	2650,6	2,2598	59	2760,2	2,3533	100	2832,9*	2,4152
19	2675,0	2,2806	60	2762,4	2,3551	101	2834,2	2,4164
20	2699,4	2,3014	61	2764,6	2,3570	102	2835,6	2,4176
21	2723,8*	2,3222	62	2766,9	2,3590	103	2836,9*	2,4186
22	2724,8	2,3231	63	2769,1	2,3608	104	2837,6	2,4193
23	2725,8	2,3239	64	2771,3	2,3627	105	2838,3	2,4199
24	2726,8	2,3248	65	2773,5	2,3591	106	2839,0	2,4204
25	2727,8	2,3256	66	2775,7	2,3665	107	2839,7	2,4211
26	2728,8	2,3265	67	2777,9	2,3684	108	2840,4	2,4217
27	2729,8	2,3273	68	2780,9	2,3709	109	2841,1	2,4223
28	2730,8	2,3282	69	2783,9*	2,3735	110	2841,8	2,4229
29	2731,8	2,3291	70	2786,2	2,3754	111	2842,5	2,4234
30	2732,8	2,3297	71	2788,5*	2,3774	112	2843,2*	2,4240
31	2733,8	2,3307	72	2790,7	2,3793	113	2843,9	2,4246
32	2734,8	2,3316	73	2792,9	2,3811	114	2844,6*	2,4252
33	2735,8*	2,3324	74	2795,0	2,3829	115	2844,6	2,4252
34	2736,3	2,3329	75	2797,1	2,3847	116	2844,6*	2,4252
35	2736,8	2,3333	76	2799,2	2,3865	117	2844,6	2,4252
36	2737,3	2,3337	77	2801,3*	2,3883	118	2844,6*	2,4252
37	2737,7	2,3342	78	2803,2	2,3899	119	2844,6	2,4252
38	2738,3	2,3346	79	2805,2*	2,3916	120	2844,6*	2,4252
39	2738,8	2,3350	80	2807,3	2,3934			
40	2739,3	2,3354	81	2809,4*	2,3952			

Ce tableau montre que, pendant les sept premières heures, 2 grammes environ de l'eau contenue dans le calorimètre et soumise ainsi à la température de la neige fondante, ont passé à l'état de glace, que, de plus, cette congélation a continué dans une proportion décroissante pendant cent quatorze heures, et qu'après ce long espace de temps, l'eau cessa de se geler dans l'instrument lorsque celui-ci continuait à être soumis à la température de la neige fondante. La quantité de glace considérable, et hors de proportion qui se forme au commencement de l'expérience, provient de la basse température que possède, à l'origine, le cylindre de glace engendré entre —15° C. et —20° C. On peut, en effet, s'assurer de ce fait par la considération suivante : si l'on suppose que la quantité de glace g qui s'est formée pendant les sept premières heures, résulte du refroidissement qu'a éprouvé l'eau pour échauffer le cylindre de glace de $-t^{\circ}$ à 0°, on obtient la température moyenne à laquelle le cylindre a dù avoir été pour produire ce poids de glace, par l'équation :

$$t = \frac{l\,g}{s_w\,G}$$

dans laquelle l représente la chaleur latente de fusion de l'eau s_w la chaleur spécifique de la glace et G le poids du cylindre de glace refroidi à t°. Dans cette équation, G seul est inconnu. Pour évaluer G, la série d'observations du tableau I étant terminée, on a plongé l'extrémité ouverte du tube gradué dans un petit vase rempli de mercure, dont on avait préalablement déterminé le poids, puis après avoir laissé fondre le cylindre de glace et ramené l'instrument à 0° C., on a déterminé la perte de poids G_1 du petit vase de mercure. Le poids du cylindre de glace que l'on cherchait est :

$$G = \frac{G_1 \, p}{s_q \, v},$$

où s_q est la pesanteur spécifique du mercure à 0° C., p le poids de glace fondue (équation 3), qui correspond à une division de l'instrument et v l'espace occupé par une division (équation 1). Les valeurs numériques des termes qui composent cette équation et la précédente, sont :

l = 80,03
s_q = 13,596
s_w = 0,48
g = 2,13 grammes.
G = 61,227 grammes.
p = 0,0008526 gr.
v = 0,00007733 centimètres cubes.

En introduisant ces valeurs dans les équations, on obtient pour le poids du cylindre de glace qui a servi dans ces expériences :

G = 49,65 grammes,

et pour la température de ce cylindre :

t = — 6°,95 C.

Par conséquent, il suffisait que le cylindre de glace, engendré à une température d'au moins —15° C., eût encore, après l'introduction de l'instrument dans la neige, une température de —7° C., pour produire, par son échauffement à 0° C. la quantité de glace résultant des sept premières heures d'observations. Les déterminations de chaleurs spécifiques qui sont rapportées plus loin, permettent de conclure qu'un laps de temps de sept heures est plus que suffisant pour égaliser, dans l'instrument une différence de température de 7° C.; il faut donc attribuer la formation de la glace, qui, selon le

tableau I, se prolonge pendant plus de cent heures, à une autre cause que celle qui a été indiquée. Sans nous préoccuper ici de savoir si cette cause tient à l'air que renferme l'eau de neige, comme l'admet M. C. Schultz [1], ou bien si la transformation de la neige en névé y joue un rôle, il nous suffit tout d'abord de rechercher quelques-unes des influences qui contribuent à abaisser le point de fusion de la glace, et qui méritent une attention spéciale dans l'emploi du calorimètre à glace. Quand on imbibe la neige pure qui entoure l'appareil d'eau bouillie, ou d'eau distillée à 0° C., agitée préalablement avec de l'air, et en quantité égale à celle que cette neige retient lorsqu'on la laisse s'égoutter, il ne se produit pas de congélation, à ce que l'on a constaté du moins pendant les douze heures qu'ont duré les expériences; mais il s'opère dans l'instrument une fusion de glace telle que toute observation est rendue impossible. D'autre part, la moindre impureté de la neige a pour conséquence une augmentation continue, si considérable du cylindre de glace que le mercure s'élève souvent de plusieurs divisions dans une minute. La neige qui renferme de faibles traces des sels contenus dans la terre ou d'autres impuretés, soit animales, soit végétales provenant du sol des rues, présente, de la manière la plus frappante, cet abaissement du point de fusion. De la glace de rivière assez pure pour que l'eau qui s'en écoulait par la fusion fût à peine troublée à la longue par une dissolution de chlorure de barium et de nitrate d'argent, a produit dans l'appareil deux grammes de glace en trois jours. Il résulte clairement de ces observations, que dans les expériences en

[1] *Poggendorff's Annalen*, t. CXXXVII, p. 253. — *Archives*, 1869, t. XXXVI, p. 45.

question il ne faut employer que la neige la plus pure. En outre, il convient d'opérer dans une chambre où la température ne dépasse pas trop 0° C., et de ne commencer les observations que lorsque l'accroissement du cylindre de glace ne se traduit plus que par quelques divisions à l'heure. Mais il est particulièrement important de s'assurer, avant qu'on introduise l'instrument dans la neige pour le laisser prendre une température constante, qu'il s'est formé par la fusion une petite couche d'eau entre la paroi de verre et le cylindre de glace que ce verre contient, pour éviter des tensions inégales et les effets d'élasticité qui en résultent.

L'exactitude des observations dépend avant tout du soin que l'on apporte lors de la construction de l'instrument à chasser, d'une manière absolue, l'air que pourraient avoir absorbé l'eau et le mercure qu'on y a introduit. Voici comment il faut s'y prendre : l'appareil rempli à moitié d'eau bouillie est fixé à un pied, l'ouverture tournée en bas; cette ouverture du tube *c*, fig. I, non encore munie de la douille en fer, est plongée dans un bocal de verre plein d'eau que l'on maintient en ébullition constante. Cela étant, l'on fait bouillir l'eau introduite dans l'appareil et qui s'y élève jusqu'en β de manière à la réduire au tiers de son volume. Ensuite, lorsqu'on retire la lampe, l'appareil se remplit de lui-même d'eau privée d'air. Quand il est refroidi et replacé dans la position indiquée dans la figure, on y introduit jusqu'à la hauteur β du mercure récemment bouilli, et en quantité telle que son niveau soit à peu près le même dans le vase *b* et dans le tube *c*. Cela fait, on soutire, à l'aide d'un syphon, la plus grande partie de l'eau contenue dans le tube *c*, et on achève d'enlever les dernières traces d'hu-

midité au moyen de la pompe pneumatique à eau et d'un courant d'air sec. C'est alors seulement qu'on mastique avec de la cire à cacheter fine, la douille en fer *d*, en la disposant de telle façon, que le tube *c* en dépasse un peu le fond et puisse recevoir directement le bouchon du tube gradué sans qu'il soit nécessaire de l'introduire dans l'ouverture de la douille. Le mercure bouilli qu'on rajoute ensuite jusqu'au niveau γ, est introduit à l'aide d'un tube de verre capillaire, de manière à éviter le dépôt de bulles d'air contre la paroi du tube.

Pour qu'à chaque expérience le niveau du mercure dans le tube gradué, se trouve sur une des premières divisions de la graduation, il suffit, par un mouvement tournant, de faire pénétrer le bouchon du tube gradué un peu plus profondément dans le tube à mercure *c*, fig. I. Si le niveau, dans cette opération, a dépassé la première partie de la division, on introduit dans le liquide *a*, fig. I, un petit poids de laiton suspendu à un fil, et qu'on a préalablement un peu chauffé dans la main ou sous la langue. Dans la supposition que le petit poids de laiton pèse g grammes, que sa température soit t, sa chaleur spécifique s_m, la chaleur latente de fusion de l'eau l et que p représente le poids de glace fondue correspondant à une division de la graduation, tel qu'on le déduit de l'équation (2); l'introduction du poids de laiton g fera avancer le mercure de

$$\frac{s_m t g}{l p}$$

divisions. Si maintenant

$$t = 37° \text{ C.}$$
$$s_m = 0{,}0939$$
$$l = 80{,}03$$
$$p = 0{,}000853$$

et *g* successivement 0,1, 0,2, 0,4, 0,6....... grammes on obtient, pour ces poids en nombres ronds, les reculs suivants du niveau du mercure :

0,1	gramme	5	divisions
0,2	»	10	»
0,4	»	20	»
0,6	»	30	»
0,8	»	40	»
1,0	»	50	»

En introduisant l'un ou l'autre de ces poids de laiton préalablement chauffés sous la langue, on peut faire revenir le niveau du mercure où l'on veut. Les déplacements qui correspondent à ces petits poids, chauffés seulement à 37° C., constatent, d'une manière saisissante, la sensibilité extraordinaire de l'instrument. L'élévation de température que 0,4 grammes de laiton à 37° C., produiraient par leur immersion dans les 20 grammes d'eau environ que renferme l'appareil, déplacerait le niveau du mercure d'un thermomètre centigrade de 0°,07 C., tandis que dans le calorimètre, dont nous nous occupons, cette déviation est de vingt divisions de 1 millimètre chacune.

La manière la plus avantageuse de faire la lecture des divisions, consiste dans l'emploi d'une lunette. Nous remarquerons ici qu'il faut avoir soin, surtout si le tube gradué est étroit, de lui imprimer, avant chaque expérience, un ébranlement par de petits coups répétés, jusqu'à ce que la résistance due à la capillarité soit surmontée, et que le niveau du mercure ne change plus de place sous l'influence de nouveaux coups.

Le tableau 1 prouve que le niveau du mercure de l'instrument n'était généralement pas complétement stationnaire. Le déplacement, qui, dans le courant d'une

heure, pouvait s'élever à une ou trois divisions dans un sens ou dans l'autre, est à peu de chose près, proportionnel au temps, comme on peut s'en convaincre pendant que le calorimètre fonctionne. Voici comment on élimine la petite erreur qui en résulte : Dès qu'on aperçoit que l'instrument est suffisamment stationnaire, on note le niveau du mercure de 30 minutes en 30 minutes. Si le déplacement de ce dernier dans m_0 minutes est de τ_0 divisions, le déplacement qu'il faut attribuer pour une minute à des influences étrangères est :

$$\frac{\tau_0}{m_0}.$$

On observe maintenant le temps M_0 et le niveau de la colonne de mercure Q_0 au moment où, après avoir retiré la substance à examiner de l'étuve *f*, fig. IV, on la laisse tomber dans le tube *a*, fig. I, du calorimètre, puis l'on répète les mêmes observations une heure plus tard, ce qui fournit M et Q; enfin, l'on détermine, comme en commençant le déplacement du mercure qui est dû aux causes étrangères.

$$\frac{\tau_1}{m_1}.$$

La moyenne du déplacement qui n'est pas dû à l'expérience, s'élève pour une minute à

$$\frac{1}{2}\left(\frac{\tau_0}{m_0}+\frac{\tau_1}{m_1}\right)$$

et pour toute la durée de l'expérience à

$$(M_1-M_0)\frac{1}{2}\left(\frac{\tau_0}{m_0}+\frac{\tau_1}{m_1}\right)$$

divisions. Cette valeur doit être ajoutée comme correction à l'amplitude totale du déplacement du mercure

Q_0—Q, observé pendant l'experience, à savoir : avec le signe moins quand le déplacement indépendant de l'expérience s'exerce dans le sens de la fusion de la glace, et avec le signe plus quand il s'exerce dans le sens opposé. Pour le déplacement T, qui correspond à la chaleur qu'il s'agit de mesurer, on obtient dès lors l'équation :

$$T = (Q_0 - Q_1) + (M_1 - M_0)\ \frac{1}{2}\left(\frac{\tau_0}{m_0} + \frac{\tau_1}{m_1}\right) \ldots \ldots (5);$$

il est à peine nécessaire d'ajouter qu'aux résultats que fournissent les observations, il faut substituer les valeurs correspondantes du tableau de calibrage.

2. *Détermination de la chaleur spécifique.*

Pour déterminer la chaleur spécifique d'une substance, le plus simple est d'évaluer, une fois pour toutes, en divisions de la graduation la quantité de chaleur qu'abandonne *un* gramme d'eau en se refroidissant de 1° C. à 0° C., et de diviser par la valeur W_w ainsi obtenue, la quantité de chaleur que perd *un* gramme de la substance à étudier pour la même différence de température. Si l'on représente par G le poids de la substance, par t sa température et par T le nombre corrigé des divisions dont le niveau du mercure s'est déplacé dans la graduation, on obtient la chaleur spécifique S que l'on cherche par l'équation :

$$S = \frac{T}{W_w\, G\, t} \ldots \ldots \ldots \ldots (6)$$

dans laquelle t représente la température de l'ébullition de l'eau sous la pression barométrique accusée pendant l'expérience.

Pour communiquer aux substances la température constante *t*, on se sert de l'appareil représenté, fig. 4, au sixième de sa grandeur réelle. Le vase de fer blanc A, muni d'un tube de verre extérieur pour mesurer la hauteur de l'eau, contient une quantité d'eau suffisante pour pouvoir fournir, à l'aide d'une petite lampe à gaz, un courant de vapeur continu pendant douze heures. Le courant de vapeur est conduit par le tube de caoutchouc *a* dans l'enveloppe de verre extérieure B, qui communique elle-même par le tube de caoutchouc *b* avec un réfrigérant ordinaire. Dans l'enveloppe B, continuellement remplie de vapeur, se trouve l'étuve *f* sous la forme d'un tube à réaction en verre mince, dont l'ouverture n'est pas évasée, mais, au contraire, un peu rétrécie. Cette ouverture dépasse de quelques millimètres le bouchon de caoutchouc qui ferme l'enveloppe extérieure B. Quand la substance que l'on veut échauffer a séjourné pendant une heure environ dans le tube *f*, enveloppé de toutes parts par le courant de vapeur, on saisit l'appareil tel quel par l'anneau de liége *n*, et on porte l'ouverture *p* encore bouchée vers l'ouverture du calorimètre δ, fig. 1, également bouchée, on enlève rapidement les bouchons, tout en inclinant l'étuve, et on laisse tomber la substance dans l'eau *a*, fig. 1. La chute de la substance ne dure qu'une petite fraction de seconde; de sorte que, pendant cette opération, le refroidissement est assez faible pour qu'on puisse n'en pas tenir compte.

Au fond du tube *a*, fig. 1, se trouve un petit tampon de ouate bien imbibé d'eau, et qui est entouré d'un fil de platine pour l'empêcher de s'élever. Ce coton a un double but : il sert premièrement à préserver le tube *a* des détériorations que pourrait occasionner la chute de

corps pesants dans son intérieur; en second lieu, il facilite la sortie des substances qui ont servi à l'expérience : dans ce but, on introduit dans le coton un fil de métal qui se termine en tire-bouchon, on soulève ce dernier jusqu'à l'ouverture du tube, on enlève la substance, puis, à l'aide du fil, on remet le coton à sa place primitive.

L'avantage capital que présente l'appareil que nous venons de décrire, abstraction faite de la grande sensibilité qu'il possède comparativement à tous les autres instruments calorimétriques, consiste en ce que toute la chaleur que le corps échauffé abandonne est employée sans aucune perte à faire fondre la glace. Le substance introduite dans l'eau à 0° C. qui est contenue dans le tube *a*, fig. 1, a une masse si petite, comparée à celle de cette eau elle-même, que la température ne peut jamais s'élever à 4° C. Comme cette température est celle du maximum de densité, il s'en suit que la petite quantité d'eau réchauffée qui se trouve au fond du tube *a* ne peut jamais s'élever, et se trouve préservée de toute perte de chaleur par la colonne d'eau à 0° C. qui repose sur elle, et dont la conductibilité pour la chaleur est insignifiante. On reconnaît très-bien ce fait à la forme du cylindre de glace, quand ce dernier a servi à 30 ou 40 expériences. On aperçoit alors dans la glace, tout autour de la convexité du tube *a*, un espace creux qui s'est rempli d'eau par la fusion, et qui a la forme d'un flacon à digestion, tandis qu'au-dessus le cylindre de glace est parfaitement intact.

Le poids de la substance à examiner variera selon la grandeur de la chaleur spécifique à laquelle on s'attend; il n'a pas besoin d'excéder les limites de 0,3 grammes à 4

grammes au plus. Lorsque la substance est liquide, ou dans le cas où elle peut subir une altération au contact de l'air ou de l'eau, on l'introduit au préalable, comme pour des analyses organiques, dans une petite ampoule de verre très-mince, dont on détermine le poids en même temps que celui de la substance. Si la substance plongée directement ou placée dans l'ampoule nage sur l'eau, on la charge d'une spirale de platine, soigneusement pesée, et dont le poids est suffisant pour la faire enfoncer. Il serait peut-être encore préférable d'employer, dans tous les cas, un petit vase léger en platine fermant hermétiquement. La quantité de chaleur qu'abandonnent l'ampoule de verre et la spirale de platine est appréciée de la manière suivante : Si l'on désigne par G_g le poids de l'ampoule de verre, par t sa température, et par W_g la quantité de chaleur, mesurée en divisions de la graduation, que 1 gramme de l'enveloppe de verre abandonne en se refroidissant de 1° C. à 0° C., si, en outre, on désigne par G_p, t et W_p les mêmes valeurs pour le platine, l'équation (6) devient

$$S = \frac{\frac{T}{t} - (W_g G_g + W_p G_p)}{W_g G} \cdots\cdots \quad (7)$$

Il faut, en premier lieu, déterminer une fois pour toutes les constantes W_g, W_p et W_w. W_p s'obtient par l'équation

$$W_p = \frac{T}{Gt}$$

d'après les observations suivantes, dans lesquelles G représente le poids du platine employé :

$T = 215{,}6$
$t = 100°{,}0$ C.
$G = 4{,}5942$ grammes

d'où :

$$W_p = 0,4692$$

W_g a été calculé au moyen de la même équation, d'après les observations suivantes, qui ont été calculées sur deux espèces de verre. G représente le poids du verre employé, et les éléments nécessaires à la détermination de T par l'équation (5) sont donnés.

Tableau 2.

		Espèce de verre 1	Espèce de verre 2	
		Expérience 1.	Expérience 2.	Expérience 3.
Poids du verre	G	0,5706 gr.	1,0114 gr.	1,4319 gr.
Température du verre..	t	99°.74 C.	99°,474 C.	99°,474 C.
Durée de l'expérience. .	$M_1 - M_0$	29′	87′	56′
Marche du mercure sous l'action des causes étrangères . . av. l'expér.	$\frac{\tau_0}{m_0}$	—0,1	0,0	+0,005
Marche du mercure sous l'action des causes étrangères . . ap. l'expér.	$\frac{\tau_1}{m_1}$	—0,1	0,0	+0,014
Amplitude du déplacement du mercure. . .	$Q_0 - Q_1$	159,1	287,9	410,4

Pour la première espèce de verre l'on a :

$$W_g = 2,7446;$$

pour la seconde,

$$W_g = 2,8616$$
$$W_g = 2,8777$$

Moyenne..... $= 2,8697$

W_w a été obtenu au moyen de l'équation

$$W_w = \frac{\frac{T}{t} - (W_g\, G_g + W_p\, G_p)}{G}$$

d'après les résultats des deux expériences suivantes :

Tableau 3.

		Expérience 1.	Expérience 2.
Poids de l'eau................	G	0,3333	0,3333
Poids de l'ampoule de verre.......	G_g	0,2223	0,2223
Poids de la charge de platine......	G_p	0,5230	0,5230
Température des corps immergés....	t	99°,474 C.	99°,474 C.
Durée de l'expérience...........	M_1-M_0	76′	86′
Marche du mercure sous l'action des causes étrangères....... avant l'expér..	$\frac{\tau_0}{m_0}$	0,0	+0,067
Marche du mercure sous l'action des causes étrangères....... après l'expér..	$\frac{\tau_1}{m_1}$	0,0	+0,064
Amplitude du déplacement du mercure..	Q_0-Q_1	573,9	568,1

Constantes........... $W_p = 0,4692$; $W_g = 2,870$

D'après le calcul on obtient :

Pour l'expérience 1 : $W_w = 14,660$
Pour l'expérience 2 : $W_w = 14,654$
En moyenne...... $W_w = 14,657$

Pour rendre plus claire la méthode qui vient d'être décrite, je vais suivre les résultats de la détermination de quelques substances chimiquement pures, dont la chaleur spécifique a été déterminée avec une grande exactitude par la méthode des mélanges en usage jusqu'ici. Les éléments d'observation de ces expériences sont réunis dans le tableau 4 ci-dessous, dans lequel la désignation des lettres se rapporte aux équations (5) et (7).

Tableau 4.

Substance soumise à l'expérience		Argent fondu	Zinc fondu	Antimoine fondu	Cadmium fondu	Soufre en canons très-vieux
Poids de la substance	G	3,6320	2,5150	3,8575	1,8675	1,0708]
Poids de l'ampoule de verre. .	G_g	0	0	0	0	0
Poids de la charge de platine.	G_p	0	0	0	0	0
Température de la substance. .	t	100°,00 C.	99°,80 C.	99°,80 C.	99°,80 C.	100°,00 C.
Durée de l'expérience	$M_1 - M_0$	60′	60′	64′	63′	55′
Marche du mercure sous l'action des causes étrangères . . . avant l'expér.	$\frac{\tau_0}{m_0}$	0	0	0	0	0
Marche du mercure sous l'action des causes étrangères . . . après l'expér.	$\frac{\tau_1}{m_1}$	0	0	0	0	0
Amplitude du déplacement du mercure	$Q_0 - Q_1$	297,7	343,8	279,5	146,7	268,8
Constante	W = 14,657					

Dans le tableau 5 sont réunies les chaleurs spécifiques calculées d'après ces valeurs, en regard de celles que M. Regnault a trouvées par la méthode des mélanges.

Tableau 5.

Substances.	Calorimètre à glace. a	D'après Regnault. b	$a-b$
Eau	1,0000	1,0000	—
Argent.........	0,0559	0,0570	—0,0011
Zinc...........	0,0935	0,0956	—0,0021
Antimoine......	0,0495	0,0508	—0,0014
Cadmium.......	0,0548	0,0567	—0,0019
Soufre.........	0,1712	0,1764	—0,0052

On voit que les résultats obtenus par le calorimètre à glace s'écartent très-peu de ceux que M. Regnault a trouvé par la méthode des mélanges, mais qu'ils sont constamment un peu plus faibles. Je ne saurais décider, vu le petit nombre d'expériences, si cet écart constant tient à la différence des méthodes employées [1]. Je me suis efforcé, en effet, d'éviter toutes les sources d'erreurs probables; mais je n'ai pas pu apporter à ces recherches un soin exclusif, étant occupé à d'autres travaux pendant le même temps.

Le tableau 6 qui suit renferme les résultats de quelques expériences sur des corps simples purs, dont on n'avait pas pu jusqu'à présent déterminer la chaleur spécifique.

[1] La différence, du reste fort petite, existant entre les résultats obtenus par ces deux physiciens peut, ce nous semble, s'expliquer par le fait qu'ils ont opéré à des températures très-différentes. Les expériences de M. Regnault ont été faites dans des limites de température beaucoup plus élevées que celles de M. Bunsen. (*Réd.*)

Tableau 6.

Substance		Indium	Indium	Ruthénium	Calcium	Calcium	Etain allotropique	Etain fondu
Poids de la substance	G	1,1514	1,1514	1,7927	0,2823	0,2823	2,2394	3,0017
Poids de l'ampoule	G_g	0	0	0,3287	0,6683	0,6683	0,3953	0
Poids de la charge de platine	G_p	0	0	0,4239	0,4239	0,4239	0	0
Température de la substance	t	99°,82 C.	99°,82 C.	99°,60 C.	99°,78 C.	99°,78 C.	99°,786 C.	99°,606 C.
Durée de l'expérience . . .	M_1-M_0	46′	47′	106′	65′	76′	66′	65′
Marche du mercure sous l'action des causes étrangères. — avant l'exp.	$\frac{\tau_0}{m_0}$	—0,130	—0,063	—0,160	—0,090	—0,052	—0,120	0,090
Marche du mercure sous l'action des causes étrangères. — après l'exp.	$\frac{\tau_1}{m_1}$	—0,020	—0,037	—0,110	—0,130	—0,076	—0,16	0,13
Divisions parcourues par le mercure	Q_0-Q_1	100,2	97,5	276,8	280,2	277,3	296,0	252,1
Constantes.		$W_g = 2,745$; $W_p = 0,4692$; $W_w = 14,657$.						

Tableau 7.

Corps simples.	Chaleur spécifique a.	Poids atomique b.	Chaleur atomique $a \times b$.
Ruthénium	0,0611	52,0	3,18
Calcium..........	0,1722	20,0	3,44
Calcium..........	0,1686	20,0	3,37
Étain allotropique..	0,0545	58,8	3,21
Étain fondu.......	0,0559	58,8	3,39
Indium...........	0,0574	37,8	2,17
Indium...........	0,0565	37,8	2,13

J'ai quelques remarques à faire sur les matières qui ont servi dans ces expériences, et sur les résultats qui ont été obtenus : Le ruthénium avait été extrait des résidus de fer entièrement dépourvus d'osmium, provenant de la Monnaie de Saint-Pétersbourg. On a utilisé, dans ce but, la poudre grise qui résulte du traitement de ces résidus par le chlorure de baryum et un courant de chlore ; fondue avec de la potasse hydratée, cette poudre produit une quantité considérable de ruthénate de potasse. L'oxyde qu'on obtient en soumettant ce sel à une précipitation fractionnée par l'acide carbonique, a été converti en chloride par l'acide chlorhydrique ; la dissolution aqueuse de ce chloride, exposée à un courant de gaz hydrogène, a fourni un précipité métallique en lames brillantes que l'on a eu soin de porter à l'incandescence dans un courant d'hydrogène, de manière à faire disparaître les dernières traces d'oxyde. L'analyse a prouvé que le métal ainsi préparé ne renfermait aucun des autres métaux du groupe du platine. La chaleur spécifique qui a été trouvée pour ce métal s'accorde, comme on devait s'y attendre, avec le poids atomique admis jusqu'ici.

Le calcium a été obtenu par l'électrolyse du chlorure de calcium fondu. Il se présente sous la forme de petites boules à éclat métallique, d'un jaune d'or pâle, et qui deviennent rapidement grises à l'air. Avant de les enfermer dans l'ampoule, on leur rendait le brillant en les frottant dans une atmosphère d'acide carbonique. D'après les essais analytiques, elles sont presque parfaitement pures. En se fondant sur le volume atomique qui a été trouvé, il faut admettre que le poids atomique adopté jusqu'à présent $Ca = 20$ est exact, et qu'il ne doit *pas* être réduit de moitié, comme on a été conduit à le faire pour les autres métaux alcalins.

Nous avons désigné ici par étain allotropique la singulière modification de ce métal, qui se produit quand on expose le métal ordinaire à une température très-basse et prolongée. Le morceau qui a été soumis à l'expérience provient de la grande masse de métal sur laquelle M. Fritsche a observé le premier cette remarquable allotropie, dont il a donné la description. Cette masse, modifiée par le froid intense et continu d'un hiver exceptionnellement long, se composait d'un amas de petites tiges anguleuses accolées sans grande cohésion dans une même direction, et se brisant sous une faible pression. Cet étain, d'après mes observations, jouit d'une grande pureté, il ne renferme aucune trace d'antimoine, ni d'arsenic, et se dissout complétement dans le trisulfure de potassium, sans laisser un résidu de sulfure basique. Les petites tiges qui le composent ne sont pas cassantes, mais ductiles comme l'étain ordinaire. L'étain non allotropique, que j'ai examiné, a été obtenu en fondant l'allotropique. Les deux modifications ont conduit, à peu de chose près, à la même chaleur spécifique.

L'indium employé était entièrement dépourvu d'étain, de cadmium et de fer. Après l'oxydation par l'acide nitrique, et l'évaporation avec de l'acide sulfurique, le résidu repris par l'alcool ne laissait aucune trace de sulfate de plomb. 1,0592 grammes de métal, dissous sans perte dans l'acide nitrique, ont laissé après l'évaporation et la calcination 1,2825 d'oxyde d'indium. Si, selon l'opinion générale, on considère ce dernier comme étant composé du même nombre d'atomes d'oxygène et d'indium, on obtient par le calcul de cette expérience la valeur

$$\mathrm{In} = 37{,}92$$

pour le poids de l'atome de l'indium, qui s'accorde assez exactement avec celui que Winkler a trouvé :

$$\mathrm{In} = 37{,}81.$$

Ce poids atomique, multiplié par la chaleur spécifique s_c trouvée, donne toutefois pour la chaleur atomique de l'indium une valeur

$$s_c\ \mathrm{In} = 2{,}13$$

qui ne se trouve pas d'accord avec celle des autres éléments.

L'hypothèse généralement admise, que l'oxyde d'indium est composé selon la formule I_n O ne paraît donc pas pouvoir être conservée. Si l'on suppose le poids atomique une fois et demie plus grand,

$$\mathrm{In} = 56{,}7,$$

la chaleur atomique devient :

$$s_c\ \mathrm{In} = 3{,}23,$$

c'est-à-dire presque semblable à celle des autres éléments. Le poids atomique 56,7 fait disparaître l'anomalie que présentait l'oxyde d'indium, considéré comme saturant

un atome d'acide, et se rapprochant, par toutes ses propriétés, des oxydes à trois atomes d'acide, qui ne sont pas susceptibles de former des aluns. Il faut donc substituer aux formules de la colonne I du tableau 8, celle de la colonne II.

Tableau 8.

	I.	II.
Oxydule d'indium noir. .	$In_2 O$?	$In O$?
Oxyde d'indium jaune . .	$In O$	$In_2 O_3$
Oxydule-oxyde d'indium vert	$5 In O, In_2 O$	$2 In O, In_2 O_3$
Oxydule-oxyde d'indium gris	$4 In O, In_2 O$	$3 In O, 2 In_2 O_3$
Hydrate d'oxyde d'indium.	$In O, H_2 O$	$In_2 O_3, 3 H_2 O$
Sulfate d'oxyde d'indium.	$In O, SO^3, 3 H_2O$	$In_2O_3, 3SO_3, 9H_2O$
Perchlorure d'indium . .	$In Cl_2$	$In_2 Cl_6$
Chlorure ammonico-indique	$2 N_2H_8Cl_2, 3 In Cl_2, 2H_2O$	$2 N_2H_8Cl_2, In_2 Cl_6, 2H_2O$

Le chlorure ammonico-indique, préparé par R.-G. Mayer, et cité dans le tableau, a la même composition que le chlorure ammonico-rhodique qui contient aussi deux atomes d'eau. Je n'ai pas pu encore constater si le poids atomique modifié trouve une confirmation dans l'isomorphie de ces sels, mais j'y reviendrai dans un travail sur le rhodium.

Je n'ai pas pu me rendre compte, en raison de l'hiver très-défavorable à des essais de ce genre, si l'instrument peut aussi servir à déterminer la chaleur latente de fusion. Je me bornerai à mentionner que les expériences décrites dans ce mémoire, permettent de déterminer la chaleur latente de l'eau avec une exactitude qui ne laisse rien à désirer. D'après l'équation (2) une division du calorimètre correspond à

$$\frac{v\, s_e\, s_w}{s_w - s_e} \text{ grammes}$$

de glace fondue. La constante W_w que donne l'équation (8), fournit le nombre de divisions de la graduation qui correspond à une des unités de chaleur dont il est question au commencement de ce travail. Une division de la graduation du calorimètre correspond par conséquent à

$$\frac{1}{W_w}$$

unités de chaleur. Si on représente par l la chaleur latente de l'eau,

$$\frac{1}{W_w}$$

représentera, en grammes, le poids de la quantité de glace qui doit être fondue pour que le mercure se déplace d'une division. On obtient dès lors pour l

$$l = \frac{s_w - s_e}{W_w s_e s_w v}.$$

ou bien d'après l'équation (2) :

$$l = \frac{1}{W_w p}$$

En remplaçant, dans l'équation les lettres, par leurs valeurs trouvées plus haut,

$$p = 0{,}00085257$$
$$W_w = 14{,}660$$
$$W_w = 14{,}654$$

on obtient pour la chaleur latente de fusion de l'eau l,

80,01
80,04
en moyenne.... 80,025

D'après la méthode des mélanges, d'autres expérimentateurs ont obtenu

Regnault... 79,4
Person..... 80,0
Hess....... 80,3

La chaleur de combustion des gaz pourra être déterminée avec une beaucoup plus grande exactitude, au moyen du calorimètre à glace, qu'elle ne l'a été jusqu'ici par les procédés dont on disposait. En appliquant l'équation (4) à la chaleur de combustion de l'hydrogène, on trouve que 10 centimètres cubes de ce gaz à 0° C., et sous la pression 0,76, produisent par leur combustion avec l'oxygène un déplacement de 453 divisions dans l'appareil que nous avons décrit plus haut. Il suffit, par conséquent, de brûler dans le calorimètre des quantités de gaz très-petites, qui, par cela même, peuvent facilement s'obtenir à l'état de pureté, et de noter l'indication de la graduation qui en résulte, pour avoir immédiatement la chaleur de combustion, exprimée en unités de chaleur, sans avoir égard à toutes les corrections usitées qu'on ne pouvait éviter, et qui, la plupart du temps, offraient peu de sécurité.

HENRI-GUSTAVE MAGNUS

SA VIE ET SES TRAVAUX

Suivant la tournure de son esprit et la nature de ses facultés, le savant suit dans ses recherches les méthodes les plus diverses. Tantôt dédaignant les chemins battus il entre de préférence dans des voies entièrement nouvelles et, suivant les caprices de son génie, adresse les questions les plus variées, souvent même les plus bizarres à la nature qui, tout en lui répondant souvent par la négative, lui révèle parfois aussi les faits les plus inattendus et les plus riches en conséquences et en applications de toutes sortes. Tantôt moins amateur de la nouveauté que de la précision, il préfère revenir en arrière et reprendre tel ou tel résultat déjà obtenu par d'autres, mais admis sans contrôle suffisant, afin d'y apporter toute l'exactitude qu'exige la physique moderne; il s'attache à assurer la marche de la science plutôt qu'à la pousser lui-même en avant sur un terrain inexploré et souvent hasardé, et de la sorte il contribue de la manière la plus efficace à ses progrès dans l'avenir. Ces deux méthodes sont également fécondes, et d'ailleurs elles ne peuvent pas se séparer absolument l'une de l'autre. La première, qui est peut-être la plus brillante, exige un esprit hardi, un génie créateur; la seconde, en revanche plus modeste, mais aussi plus sûre, exige une grande érudition, un esprit critique et un grand talent d'expérimentation.

La carrière scientifique que nous allons essayer d'es-

quisser appartient essentiellement à cette dernière tendance. La tâche de Magnus a été moins de créer tout à nouveau, que de reprendre, de corriger, de compléter certains points de science, de transformer parfois même complétement les idées admises avant lui sur tel ou tel ordre de faits, et dans cette mesure-là il s'est montré réellement novateur, grâce à la précision qu'il apportait dans toutes ses recherches et aux aperçus originaux qu'il savait introduire dans des sujets en apparence épuisés. Il faisait peu de cas des conceptions hardies et des théories même les plus ingénieuses lorsqu'elles ne s'appuient pas sur une démonstration rigoureuse. En revanche, les faits les plus minimes en apparence prenaient pour lui de l'importance par le seul fait qu'ils avaient été dûment constatés et irrévocablement acquis à la science. Savant exact et consciencieux, il savait toujours se borner dans ses recherches, n'avançant rien qu'il n'eût d'abord écarté avec le plus grand soin toutes les causes d'incertitude qui pouvaient entacher ses expériences. Homme de saine et loyale critique, il n'aimait point à prendre en défaut tel ou tel de ses collègues en science; lorsqu'il y avait désaccord entre ses résultats et ceux d'un autre expérimentateur, sa première idée était de rechercher l'erreur dans ses propres expériences. Essentiellement modeste, aimant avant tout la science pour la science, méprisant sa propre gloire, il ne craignait pas de s'imposer parfois les recherches les plus ardues, les travaux en apparence les plus ingrats, et de cette façon il a réussi, presque sans s'en douter, à donner à son nom une réputation solide et incontestée.

Henri-Gustave Magnus est né à Berlin le 2 mai 1802. Il appartenait à une des familles les plus honorables de

cette ville. Dès sa plus tendre enfance il manifesta des aptitudes particulières pour les sciences exactes, et préférait l'étude aux distractions habituelles de son âge. Un goût très-prononcé le poussait vers la carrière qu'il a suivie avec tant de succès. Il prit tous ses grades à l'Université de Berlin et fut reçu docteur en 1827. Il avait fait ses premières recherches dans le laboratoire de Mitscherlich : il alla ensuite poursuivre ses études pratiques auprès de Berzélius à Stockholm, où il passa l'année 1828. Il se rendit de là à Paris où il fréquenta le laboratoire de Gay-Lussac, et où il se prépara aux belles recherches sur les gaz qu'il devait entreprendre quelques années plus tard. De retour dans sa ville natale, il ne tarda pas à prendre dans l'enseignement une place qu'il a toujours occupée depuis lors avec une grande distinction et un zèle sans bornes. Il débuta dans cette carrière en 1831 comme privat docent. Il fut nommé en 1834 professeur extraordinaire, puis en 1845 professeur ordinaire de physique et de technologie à cette Université de Berlin, dont il a été une des gloires les plus pures, et dans laquelle il a plus qu'aucun autre contribué à développer le goût et l'étude de cette branche si importante des connaissances humaines. Ce fut lui qui fonda le cabinet de physique de l'Université, lequel s'est accru à sa mort de la belle collection d'appareils qui étaient sa propriété particulière.

Ses premiers travaux portèrent surtout sur la chimie et la physico-chimie.

Il publia en 1825, dans les *Annales de Poggendorff*, un mémoire fort intéressant sur la propriété que possèdent le fer, le cobalt et le nickel, préparés par la réduction de leurs oxydes dans un courant d'hydrogène, de prendre feu spontanément dans l'air à la tempé-

rature ordinaire. Il ne se borna pas à découvrir le fait et à constater qu'il appartenait uniquement à ces trois métaux, mais il l'expliqua en le rapprochant des expériences de Th. de Saussure sur l'absorption des gaz par le charbon et en montrant que le corps obtenu par ce procédé condense au plus haut degré l'oxygène, par suite de sa porosité, et se combine de la sorte vivement avec lui, de manière à produire l'incandescence.

Il découvrit, en 1828, le composé que l'on a appelé sel vert de Magnus, renfermant les éléments du chlorure de platine et de l'ammoniaque, et qui a été le point de départ de la série des combinaisons de platine et d'ammonium. Dans un travail exécuté en commun avec Ammermüller, il découvrit l'acide périodique. Il trouva également les acides éthioniques et iséthioniques ; il donna l'analyse d'un grand nombre de minéraux, reconnut la propriété singulière que possèdent certains silicates cristallisés tels que les grenats, de perdre par la fusion une portion notable de leur pesanteur spécifique.

Mais nous ne nous arrêterons pas à énumérer tous les travaux que Magnus exécuta dans cette branche de la science, nous avons hâte d'arriver à ses nombreuses et belles recherches en physique, car ce sont elles qui constituent ses vrais titres de gloire. Elles se sont surtout étendues dans le domaine de la physique moléculaire et du calorique.

Son premier travail de physique, intitulé « Recherches sur la capillarité, » est plutôt une étude sur la diffusion des gaz et leur passage à travers les tubes de verre fêlés. Il renferme sur ce point des vues nouvelles et montre l'immense différence que l'hydrogène présente sous ce rapport avec les autres gaz.

Il publia plus tard quelques observations intéressantes sur l'évaporation, dans des tubes capillaires, qu'il trouva être plus rapide dans les tubes les plus étroits que dans les autres, et sur l'ébullition des mélanges de liquides. Sur ce dernier point, il montra, comme la théorie l'indique, que cette ébullition s'accomplit à la température à laquelle la somme des tensions des vapeurs mélangées est égale à la pression atmosphérique, par conséquent à une température un peu inférieure au point d'ébullition du liquide le plus volatil. Il observa que cette condition ne se réalise pas absolument lorsque le liquide le plus volatil se trouve placé au-dessous de l'autre ; le mélange, dans ce cas, se surchauffe et entre subitement en ébullition avec une violente explosion.

C'est aussi à cette époque de sa vie, et dans les premières années de sa carrière de professeur, que Magnus fit ses intéressantes recherches sur les gaz contenus dans le sang [1]. Ce travail a été dépassé depuis, mais son auteur conservera toujours l'honneur d'avoir modifié considérablement les idées que l'on se faisait avant lui sur l'une des fonctions les plus importantes de la vie animale. La théorie de la respiration la plus répandue avant lui, était celle de Lavoisier, d'après laquelle la combustion du sang s'accomplit entièrement au moment où il arrive au contact de l'air dans les poumons. Cette théorie était en effet la seule possible tant que l'on n'avait pas constaté la présence dans le sang des gaz émis par l'expiration. Magnus a trouvé dans le sang artériel aussi bien que dans le sang veineux, des quantités notables d'oxygène, d'azote et d'acide carbonique. La somme de ces

[1] *Poggend. Annalen*, 1837, tome XL, p. 583.

trois gaz a atteint, dans ses expériences, la huitième partie du volume du gaz. Il a trouvé que, dans le sang artériel, l'oxygène était $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{2}$ de l'acide carbonique, dans le sang veineux seulement $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{5}$, et il concluait de là, que l'oxygène ne se combine pas immédiatement dans les poumons avec le carbone du sang, mais que, absorbé par le sang artériel, ce gaz est charrié jusque dans les vaisseaux capillaires où il est employé à la combustion des différentes substances abandonnées par l'organisme; il se produit de la sorte de l'acide carbonique qui est également absorbé, transporté par le sang veineux, et expiré une fois arrivé dans les poumons. Cette théorie est maintenant généralement admise.

Les recherches dans lesquelles Magnus a peut-être déployé au plus haut point son talent d'expérimentation, sont celles qu'il entreprit sur le coefficient de dilatation des gaz [1]. L'on avait généralement admis, avec Gay-Lussac, que les gaz possèdent tous le même coefficient de dilatation, et que entre 0 et 100° C., leur volume augmente de 0,375 de leur volume à 0. La loi de Gay-Lussac confirmée par les travaux de Dulong et Petit, avait passé dans le domaine des faits incontestés, lorsque quarante ans après la publication des travaux du savant français, un Suédois, Rudberg, reprit l'étude de cette question, et trouva, comme valeur du coefficient de dilatation de l'air, le chiffre 0,3646. Le doute ne pouvait pas subsister longtemps sur un sujet aussi capital, et sur une mesure qui trouve continuellement son application dans les recherches de physique. Aussi deux des plus habiles expérimentateurs de l'époque s'emparèrent-ils en même temps de cette importante question. Magnus com-

[1] *Poggend. Annalen,* 1842, tome LV.

muniqua les résultats de ses expériences à l'Académie de Berlin, le 25 novembre 1841; et, peu de jours après, le 13 décembre 1841, M. Régnault, donnait à l'Académie des sciences de Paris le résumé de ses recherches sur le même sujet. Ces travaux sont deux chefs-d'œuvres de physique expérimentale, et ils sont devenus classiques. Magnus dit, dans les premières lignes de son Mémoire : « Je me décidai à reprendre l'étude de cette question, tout en sachant bien qu'il n'y a pas beaucoup de gloire à recueillir, dans un semblable travail, quelque long et pénible qu'il soit, puisqu'il s'agit simplement ici de confirmer l'un ou l'autre des chiffres déjà connus. » C'est là la seule erreur que renferme ce Mémoire, et c'est son excessive modestie qui la lui avait dictée. Contrairement à son opinion, ce travail est en effet un de ses plus beaux titres de gloire.

Ayant d'abord répété les expériences de Gay-Lussac, consistant à observer la dilatation à pression constante d'une certaine quantité d'air enfermé dans un ballon de verre, par un petit bouchon de mercure, qui se déplace suivant la dilatation dans le col effilé de ce ballon, Magnus ne tarda pas à reconnaître qu'elles présentaient plusieurs causes d'incertitude. Il trouva néanmoins, comme résultat moyen de ses expériences, le chiffre de 0,369 au lieu de 0,375, ce qui tenait probablement à une meilleure dessication de l'air. Il revint alors à la méthode de Rudberg. Son appareil consistait en un réservoir tubulaire en verre, communiquant avec un appareil manométrique et renfermé dans une triple enveloppe en tôle, dans l'intérieur de laquelle l'on pouvait produire et maintenir constante telle température que l'on voulait. En augmentant la pression, l'on ramenait le volume à 100° à être

égal à ce qu'il était à 0°. Une équation très-simple résultant de la loi de Mariotte permettait de déduire le coefficient de dilatation de la différence de pression observée. La valeur obtenue de la sorte pour le coefficient de dilatation de l'air fut 0,366508, valeur un peu supérieure à celle qu'avait donnée Rudberg. Magnus ne s'était pas contenté de vérifier la loi de Gay-Lussac au point de vue seulement de cette importante donnée numérique : il avait opéré également sur différents gaz, et avait trouvé pour l'hydrogène un coefficient de dilatation moindre que celui de l'air, savoir 0,365659; pour l'acide carbonique et l'acide sulfureux au contraire des coefficients de dilatation plus forts que celui de l'air, 0,369087 pour le premier, et 0,385618 pour le second. La loi de Gay-Lussac n'était donc qu'une approximation, et Magnus avait prouvé que les gaz ne se dilatent point également, comme on l'avait généralement admis jusqu'alors.

M. Régnault avait fait quatre séries d'expériences : les deux premières, dans lesquelles il faisait varier à la fois le volume et la pression, lui donnèrent comme coefficient de dilatation de l'air deux valeurs sensiblement égales, 0,36623 et 0,36633; la troisième et la quatrième donnèrent comme coefficient de dilatation de l'air à volume constant et à pression variable, 0,36679 et 0,36650.

En opérant sur différents gaz, il était arrivé à des résultats identiques, ou à peu près, à ceux de Magnus. Les deux expérimentateurs concluaient donc à remplacer l'ancien coefficient 0,375 par le chiffre 0,366 pour l'air, et établissaient que les différents gaz se dilatent inégalement.

La différence entre les valeurs trouvées par Gay-Lussac d'une part, et par Rudberg, Magnus et M. Re-

gnault d'autre part, tenait avant tout à ce que, dans les anciennes expériences, il était resté, sur la surface intérieure du vase dans lequel on observait la dilatation de l'air, une couche d'humidité, laquelle repassait à l'état gazeux lorsque ce réservoir était amené à la température de 100°, et augmentait d'autant la dilatation. Un effet du même genre pouvait se produire par suite de la condensation du gaz lui-même soumis à l'expérience. Pour s'assurer du fait, Magnus effectua deux mesures du coefficient de dilatation, d'un seul et même gaz, l'acide sulfureux[1], en augmentant énormément dans l'un des cas l'étendue de la surface de verre par rapport au volume du gaz avec lequel il se trouvait en contact. De cette façon, c'est-à-dire en introduisant préalablement un certain nombre de baguettes de verre dans le réservoir qui contenait l'acide sulfureux, il obtint pour son coefficient de dilatation une valeur sensiblement plus grande qu'en opérant par le procédé ordinaire, sans les baguettes, et il arriva du même coup à constater le fait que les gaz se condensent aux basses températures à la surface des corps solides, et à donner la mesure de cette condensation[2].

Après ses recherches sur la dilatation de l'air aux hautes températures, et sur la tension de la vapeur d'eau, pour lesquelles il s'était trouvé encore une fois

[1] L'acide sulfureux avait été choisi pour ces expériences parce qu'à 0° il est très-près de son point d'ébullition et doit, par conséquent, se condenser à cette température en plus fortes proportions que d'autres gaz. Sur un décimètre carré de verre il se condense à zéro, environ 0,8 centimètre cube d'acide sulfureux.

[2] Ce travail avait été exécuté dès 1841, mais Magnus ne le publia que plus tard, en 1853, à l'occasion d'un travail de MM. Jamin et Bertrand sur le même sujet.

en concurrence avec M. Regnault, Magnus quitta un terrain que l'illustre savant français explorait avec des ressources infiniment plus considérables que celles qu'il possédait lui-même. Il reprit néanmoins, à plusieurs reprises, l'étude des gaz et des vapeurs; c'était là un de ses sujets de prédilection. En 1860 et 1861, il publia un travail très-important sur la transmission de la chaleur à travers les gaz, au double point de vue de la conductibilité et du rayonnement. En plaçant un thermomètre dans un vase en verre, chauffé par en haut et rempli successivement avec différents gaz ou vapeurs, il reconnut que ce thermomètre s'échauffe différemment dans les divers gaz, et atteint une température moins élevée dans l'un quelconque d'entre eux que dans le vide. Il conclut de là que les gaz ne transmettent pas, ou du moins très-peu, la chaleur par conductibilité, et absorbent une portion notable de la chaleur rayonnante. Un seul gaz, selon lui, fait exception à cette loi, du moins en ce qui concerne le premier point, c'est l'hydrogène. Le thermomètre s'échauffe plus dans ce gaz que dans le vide, quoique cependant, comme il l'a aussi reconnu, l'hydrogène absorbe la chaleur rayonnante dans les mêmes proportions que l'air, l'azote et l'oxygène; il s'échauffe même d'autant plus que ce gaz est plus dense, d'où il semble réellement résulter que l'hydrogène conduit la chaleur comme les métaux. C'était là une preuve de plus à l'appui de la théorie qui faisait de l'hydrogène un métal, et que les beaux travaux de Graham ont transformée depuis en réalité. Cette conductibilité de l'hydrogène se montre aussi bien lorsqu'on l'enferme dans une substance mauvaise conductrice elle-même, telle que de l'édredon ou du coton, que lorsqu'on ne gêne pas de

cette façon les courants qui peuvent se produire dans son intérieur.

Tous les gaz, en revanche, sans exception, absorbent, comme nous l'avons dit, la chaleur rayonnante, et cela d'autant plus que leur pression est plus élevée[1]. Ceux qui l'absorbent le moins sont l'air, l'azote et l'oxygène, puis, presque sur la même ligne, l'hydrogène. Entre tous, les gaz incolores ce sont l'ammoniac d'abord, le gaz oléfiant ensuite, qui arrêtent le plus les rayons de chaleur. Les différences existant entre les divers gaz, au point de vue de la transmission de la chaleur rayonnante, varient avec la source de chaleur employée. C'est avec une source de chaleur obscure à 100° C. que l'on obtient les différences les plus marquées. Enfin, en ce qui concerne la vapeur d'eau contenue dans l'air, Magnus reconnut qu'elle n'exerce pas d'absorption appréciable tant qu'elle est à l'état de gaz transparent. Nous allons voir que ç'a été là précisément le sujet d'une longue ontroverse entre Magnus et M. Tyndall.

Le savant physicien anglais avait entrepris, de son côté, l'étude de cette importante question, et il donna ses résultats dans un discours à l'Institution royale peu de jours seulement avant que Magnus communiquât les siens à l'Académie de Berlin. Les deux savants étaient d'accord sur tous les points, sauf précisément pour ce qui est de la transmission de la chaleur rayonnante dans l'air humide. Contrairement au fait avancé par Mag-

[1] Les expériences de Magnus sur la diathermanéité des gaz ont été faites avec un appareil consistant essentiellement en un grand réservoir en verre chauffé par en haut, contenant le gaz soumis à l'expérience et la pile thermo-électrique destinée à donner la mesure du rayonnement.

nus, M. Tyndall avait trouvé que la vapeur d'eau contenue dans l'air absorbe la chaleur rayonnante 40, 50 et même 60 fois plus que l'air lui-même, et encore avait-il obtenu ce résultat non point avec de l'air absolument saturé de vapeur, mais simplement avec l'air de son laboratoire ou l'air extérieur. On le voit, le désaccord entre les deux expérimentateurs était aussi complet que possible sur ce point important, et il est demeuré tel, malgré les efforts réitérés qu'ils ont tentés pour découvrir dans leur manière d'opérer la cause de cette divergence. Magnus a cherché à expliquer l'énorme absorption qu'a obtenue M. Tyndall par la condensation de la vapeur d'eau sur les parois intérieures du tube d'expérience, ou sur les plaques de sel gemme qui servaient à fermer les deux extrémités de ce tube. Le savant anglais, de son côté, a répété à plusieurs reprises ses expériences en y apportant tout le soin possible, et a toujours retrouvé le même résultat. La cause d'erreur, de quelque côté qu'elle se trouve, demeure donc encore à découvrir, et l'on peut se faire une idée des difficultés que présente cette question par le fait que deux expérimentateurs aussi consommés ne sont pas parvenus à la résoudre.

Magnus fit encore un certain nombre de travaux fort intéressants sur la chaleur rayonnante ; il étudia, en particulier, la variation que subit le pouvoir émissif d'un corps avec le degré de poli de sa surface, et il montra que l'augmentation de ce pouvoir émissif ne provient pas chez un corps dépoli de la plus faible densité de sa couche superficielle, mais de la discontinuité de cette couche. Il reconnut de plus que l'augmentation du pouvoir émissif pour le platine dépoli ne s'étend pas à

toutes les radiations, mais seulement à celles qui sont dans le rouge ou voisines du rouge.

Ce fut lui aussi qui découvrit la propriété que la sylvine, ou chlorure de potassium, possède en commun avec le sel gemme d'être presque absolument diathermane et de transmettre également la chaleur provenant de sources très-diverses. Il était intéressant de constater cette nouvelle analogie entre deux substances qui présentent des propriétés et une composition chimiques parfaitement identiques. En ce qui concerne cette diathermanéité si remarquable du sel gemme, nous allons voir précisément qu'il modifia complétement les idées émises par Melloni, et généralement admises depuis.

Peu de temps avant sa mort, Magnus publia un mémoire sur l'émission, l'absorption et la réflexion de la chaleur par les corps à de basses températures. Il résulte de ce travail, qui a été reproduit en entier dans les *Archives*, que les différents corps émettent, absorbent et réfléchissent aux températures voisines de 100° C. des radiations calorifiques fort différentes, suivant leur nature. De telle sorte que, si notre œil était construit de façon à percevoir les rayons de chaleur obscure, les corps sous l'action seule de ces rayons nous apparaîtraient tous sous les couleurs les plus diverses, comme cela a lieu lorsqu'ils sont soumis aux rayons lumineux. D'après les expériences de Magnus, le sel gemme, en particulier, n'est point athermochroïque, c'est-à-dire diathermane, pour toutes les espèces de chaleur indifféremment; il est, au contraire, monothermique, n'émettant et n'absorbant qu'un nombre très-limité de radiations simples, de même que le sodium incandescent n'émet qu'un petit nombre de radiations jaunes, à l'exclusion de toutes les

autres espèces de lumières. Ce résultat, qui est assurément fort curieux et inattendu, demande à être repris et étendu à un plus grand nombre de corps.

Magnus s'est surtout appliqué, comme nous l'avons dit, à l'étude de la chaleur; cependant il a enrichi encore les autres branches de la science de nombreuses observations, qui toutes, plus ou moins, portent l'empreinte de cet esprit précis et sagace. Nous dirons seulement encore quelques mots sur ses recherches dans le domaine de la thermo-électricité. Reprenant les intéressantes expériences de M. Becquerel, qui tendaient à démontrer que, dans un circuit homogène, chauffé en un de ses points, il y a production d'électricité par le seul fait d'une différence entre les quantités de chaleur propagées de part et d'autre de ce point, Magnus fit voir qu'il ne fallait point attribuer la production d'électricité dans l'expérience du fil noué à l'inégale transmission de la chaleur dans les deux portions de ce fil, mais bien à une altération dans son état moléculaire. Après avoir constaté, comme l'avait déjà fait Matteucci, qu'il n'y a pas production d'électricité au contact de deux masses de mercure à des températures différentes, il montra qu'un changement brusque de diamètre, soit dans une colonne de mercure, soit dans un fil métallique parfaitement homogène, ne donne absolument pas lieu à la naissance d'un courant, mais qu'en revanche l'on obtient toujours un dégagement d'électricité en chauffant le point de contact de deux portions hétérogènes d'un seul et même fil, dont l'une, par exemple, est écrouie et l'autre recuite.

Nous n'en finirions pas si nous voulions donner une idée, même incomplète, des nombreux travaux que Magnus a publié dans les comptes rendus mensuels et dans

les mémoires de l'Académie de Berlin, ainsi que dans les *Annales de Poggendorff*. La plupart de ces travaux ont été reproduit dans les *Archives*, soit sous forme de traduction, soit sous forme d'analyse. Nous nous bornerons à rappeler ici ses recherches sur les mouvements des liquides, sur la déviation des projectiles animés d'un mouvement de rotation, sur la température de la terre à de grandes profondeurs, sur la tension des vapeurs mélangées, sur l'électrolyse, sur l'action de l'ancre des aimants, et sur la diffraction de la lumière dans le vide, pour donner une idée de la diversité des sujets d'études qu'il a abordés, en consacrant à tous le même soin et la même précision.

Encore n'est-ce pas seulement par ses nombreuses et laborieuses recherches que Magnus a fait avancer la science, il l'a aussi dignement et brillamment servie comme professeur et même, on peut le dire, comme chef d'école. Il aimait tout particulièrement la jeunesse, et il a su se faire aimer d'elle en lui inspirant le goût de cette science à laquelle il avait consacré sa vie. On peut dire, sans exagération, qu'il a exercé une grande influence sur les générations scientifiques qui l'ont suivi. Dans le cours de sa longue carrière il reçut mille témoignages de la confiance qu'il savait inspirer à la jeunesse universitaire ; nous citerons entre autres ce fait que, pendant les troubles de 1848, ce fut à lui, l'homme par excellence de l'ordre et du devoir, que les étudiants donnèrent le commandement en chef de la légion universitaire.

Les cours qu'il donna sans discontinuer, pendant près de quarante ans, à l'Université de Berlin, et qu'il poursuivit jusque dans la dernière période de la longue et cruelle maladie à laquelle il a succombé, réunirent toujours un auditoire nombreux et attentif qu'il captivait par

la clarté et l'élégance de la diction, aussi bien que par la solidité de l'enseignement. Un grand nombre de jeunes physiciens se sont formés dans son laboratoire à la physique pratique, et ont appris à son école l'application des saines méthodes scientifiques. Il aimait aussi à les réunir une fois par semaine chez lui, dans un entretien familier, où chacun était appelé à exposer son petit bagage scientifique, et à le soumettre au contrôle de ses collègues. Il les formait ainsi à l'exposition et à la discussion. Plusieurs de ses élèves sont devenus, dès lors, des savants distingués, et tous se souviennent, avec la reconnaissance la plus vive, du bienveillant accueil et de la généreuse hospitalité qu'ils ont rencontrés dans le laboratoire du *Kupfergraben*.

Magnus sut conserver jusqu'à la fin cette activité et ce zèle infatigables pour la science. Il semblait que celle-ci pût attendre encore beaucoup de lui, lorsqu'il ressentit, à la fin de l'été 1869, les premières atteintes du mal qui devait l'emporter quelques mois plus tard. Il supporta avec courage les plus rudes souffrances et continua même à vaquer à son travail et à ses cours. Il n'abandonna son poste que lorsque les forces lui manquèrent absolument, et succomba peu de temps après, le 4 avril 1870. Sa mort excita d'universels regrets, et son nom conservera toujours une place des plus honorables dans la science.

Édouard Sarasin.

BULLETIN SCIENTIFIQUE.

PHYSIQUE.

M.-G. Gore. Sur les mouvements moléculaires et sur les changements magnétiques qui ont lieu dans le fer a des températures différentes. (*Philosophical Magazine*, septembre 1870.)

L'auteur a décrit, dans un précédent Mémoire[1], un phénomène singulier qu'il a remarqué pendant le refroidissement d'un fil de fer soumis à un certain degré de tension longitudinale au moyen d'un ressort fixé à l'une de ses extrémités, et chauffé au rouge vif. Il a reconnu que le fil de fer, dès qu'il a commencé à se refroidir, bien qu'encore rouge, a d'abord diminué graduellement de longueur, puis s'est tout à coup allongé par suite d'une diminution de cohésion, pour se contracter ensuite au point de presque reprendre sa longueur primitive pendant tout le reste de la période de refroidissement. Le phénomène correspondant, mais en sens inverse, ne s'est pas produit pendant le réchauffement d'un fil de fer placé dans des conditions analogues. M. Gore, dans un second travail « sur le développement de courants électriques par le magnétisme et par la chaleur[2], » a montré que, lorsqu'on refroidissait un fil de fer chauffé au rouge vif (sous l'influence d'un aimant permanent) et placé dans l'axe d'une hélice en fil de cuivre mince isolé, il se développait aussitôt un courant électrique induit. Il a aussi remarqué que, pendant les premiers instants de refroidissement, et à peu près à la température à laquelle ont eu lieu l'allongement et la diminution de cohésion déjà mentionnés, il se manifestait.

[1] *Proceedings of the Royal Society*, janvier 1869.

[2] *Philosophical Magazine*, juillet 1869.

dans le courant induit, une action irrégulière dépendant probablement du changement moléculaire qui venait d'avoir lieu. Dans un mémoire plus récent, dont nous donnons ici l'extrait, M. Gore a employé une méthode nouvelle pour étudier ces mouvements moléculaires, ainsi que les changements magnétiques qui ont lieu dans le fer et le nickel sous l'influence de la chaleur.

L'auteur prend un barreau parfaitement droit de fer doux, long de 81,3 centimètres sur 9,5 millimètres de diamètre. L'une des extrémités de ce barreau, maintenu horizontal au moyen de deux supports en bois, est introduite dans une hélice creuse de fil de cuivre mince, isolé, communiquant avec un galvanomètre; tandis que l'autre extrémité se trouve placée dans l'intérieur d'une hélice en fil de cuivre beaucoup plus gros, mise en rapport avec une forte pile composée de dix couples de Smee. Le barreau ainsi disposé est chauffé au rouge dans la partie voisine du milieu au moyen de cinq becs de Bunsen, et pour augmenter encore la chaleur, cette portion du barreau est pourvue d'un revêtement en briques réfractaires. Si, avant de chauffer le barreau, on établit la communication entre l'hélice en gros fil de cuivre et la pile, aussitôt une déviation de 14° à 16° se fait remarquer dans les aiguilles du galvanomètre; mais, dès que le milieu du barreau a été chauffé au rouge, cette déviation n'a plus été que de 4°. Dans une seconde expérience, avec un barreau de 61 centimètres de long sur 12,7 millimètres de diamètre, l'auteur a obtenu, à la chaleur rouge, une déviation de 20° à 22°, et lorsque le barreau avait repris sa température ordinaire, une déviation violente et instantanée de 90°. Des résultats analogues, mais moins frappants, ont été obtenus en substituant à la pile et à l'hélice un simple barreau aimanté. L'auteur croit pouvoir conclure de ces premières expériences, « qu'une « température égale à la chaleur rouge appliquée à la portion moyenne d'un barreau en fer forgé, bien qu'elle diminue largement la transmission du magnétisme le long

« de ce barreau, ne l'empêche cependant pas complétement. »

L'auteur fait ensuite remarquer le nombre considérable de mouvements moléculaires, accompagnés de changements magnétiques, qui se manifestent dans un barreau de fer battu chauffé à une température rouge modérée. Pour le démontrer, il entoure d'une hélice de fil de cuivre mince isolé l'une des extrémités d'un barreau de fer long de 81,3 centimètres, sur 9,5 millimètres de diamètre, placé dans une position horizontale et perpendiculairement par rapport au méridien magnétique. L'hélice se trouve en communication avec un galvanomètre placé à une certaine distance. En chauffant graduellement au rouge vif le milieu du barreau, il a remarqué, dès que celui-ci avait atteint le rouge mat, une déviation subite des aiguilles du galvanomètre. Un refroidissement graduel a provoqué une nouvelle déviation subite, mais en sens contraire, au moment où le barreau chauffé au rouge vif était redescendu au rouge mat. Les directions du courant induit ont été conformes, pendant la période de *réchauffement*, à celles qui seraient résultées d'une *diminution* de magnétisme, et pendant la période du *refroidissement*, à celles qui auraient été produites par un *accroissement* de magnétisme. Dans une seconde expérience, l'une des extrémités d'un barreau de fer de 61 centimètres de long sur 12,7 millimètres d'épaisseur a été mis en contact avec le pôle nord d'un barreau aimanté, tandis que son autre extrémité, enveloppée d'une hélice de 12,7 centimètres de long sur 0,25 millimètres de diamètre, renfermant 20 couches ou 2674 tours de fil de cuivre isolé, se trouvait en communication avec un galvanomètre. Le milieu du barreau ayant été chauffé au rouge, comme précédemment, l'on n'a remarqué pendant le réchauffement qu'une faible déviation des aiguilles, et pendant le refroidissement une déviation de 3° en sens inverse. Les directions du courant étaient d'ailleurs les mêmes que dans le cas précédent, montrant que la capacité

magnétique du barreau s'était subitement accrue au commencement de la période de refroidissement, à la température de la chaleur rouge modérée, la même probablement que celle à laquelle il subit la diminution anormale de cohésion accompagnée d'allongement déjà remarquée. L'une des extrémités du même barreau ayant été enveloppée d'une hélice en cuivre mince, on a introduit l'extrémité opposée dans une hélice de gros fil de cuivre de 13,3 centimètres de long sur 1,5 millimètre d'épaisseur, renfermant *8* couches ou *464* tours du n° 16, et mise en communication avec une pile de dix couples de Smee. En chauffant graduellement ce barreau comme précédemment, l'auteur a remarqué, au moment où il a atteint la chaleur rouge mat, une déviation des aiguilles faible et irrégulière de 1 $^1/_2$ degré, Elles sont ensuite revenues à zéro, et y sont restées pendant qu'on a continué à chauffer le barreau jusqu'au rouge vif. Les becs de gaz ayant été alors éteints subitement, en moins de demi-minute les aiguilles ont été déviées lentement de 1° dans la direction opposée, et après un instant d'arrêt, de 8° $^1/_2$, pour revenir, au bout de quelques instants, osciller autour du zéro, point auquel elles sont restées pendant toute la durée du refroidissement. Les directions des courants étaient les mêmes que précédemment.

Dans l'expérience suivante, l'auteur s'est servi d'un barreau de fer de 61 centimètres de long sur 19 millimètres d'épaisseur. L'hélice en gros fil de cuivre, longue de 15,2 centimètres, renfermait 536 tours du n° 17, correspondant à 1,5 millimètre de diamètre. L'hélice en fil de cuivre mince était longue de 15,2 centimètres sur 0,25 millimètre d'épaisseur, et renfermait 1960 tours du n° 27. On a procédé d'ailleurs comme dans l'expérience précédente. Dès que le barreau avait atteint la chaleur rouge mat, plusieurs changements moléculaires de peu d'importance, avec accompagnement de magnétisme, indiqués par de faibles déviations des aiguilles, se sont succédé à mesure qu'on a continué à le chauf-

fer. Le barreau employé dans cette expérience étant plus gros que les précédents, n'a pu atteindre la même température que ceux-ci. C'est pourquoi, dès qu'on a éteint les becs de gaz, les aiguilles ont été déviées à l'instant même de 25° dans la direction opposée. Cependant le courant qui a produit cette déviation s'est affaibli dans l'espace de quelques secondes, et a cessé complétement au bout d'une minute. Il a été suivi d'un autre courant faible et de courte durée dans la même direction. En plongeant le milieu du barreau déjà froid dans un mélange frigorifique à —32°, sur une longueur de 15 centimètres, on a remarqué une déviation irrégulière, indiquant de nouveau une légère modification moléculaire avec accroissement de magnétisme. Cependant le résultat général obtenu par ce refroidissement artificiel, a indiqué un décroissement de magnétisme, résultat contraire à celui qui a été obtenu par un refroidissement graduel d'un barreau chauffé au rouge. Avec un plus gros barreau de 91 centim. de longueur sur 25,4 millimètres de diamètre, les résultats électriques obtenus ont été nuls, sans doute parce que le foyer de chaleur employé n'était pas assez puissant.

Les résultats qui précèdent tendent à montrer que, lorsqu'on chauffe graduellement un barreau de fer forgé jusqu'au rouge vif, dès que le métal a atteint la température rouge modérée, une succession de mouvements faibles mais distincts, et tous semblables les uns aux autres, ont lieu parmi ses molécules. Si ensuite on le laisse refroidir lentement, on remarque, dès que sa température est redescendue au rouge modéré, trois mouvements moléculaires successifs accompagnés de diminution de magnétisme; le premier, peu caractérisé, le second plus accentué, et le troisième peu sensible, à peu près comme le premier. Ces mouvements présentent tous un caractère opposé à ceux qui ont lieu pendant le réchauffement du barreau. Le fait qu'il n'y a eu dans ce dernier cas aucune diminution *notable* de magnétisme, correspondant à l'augmentation considérable de magnétisme qui a

été constatée pendant le refroidissement, est d'accord avec le phénomène de changement de cohésion moléculaire dont il est question plus haut. L'auteur est même disposé à attribuer l'allongement subit et momentané, accompagné de diminution de cohésion, qu'il a remarquée dans un fil de fer chauffé au rouge, à l'accroissement subit de magnétisme qu'il acquiert dans ce moment ; hypothèse qui serait d'accord avec le fait constaté par M. Joule, que « lorsqu'on aimante une tige de fer doux à la température de 15°, elle « augmente subitement de longueur tandis que son diamètre diminue. »

Les résultats suivants ont été obtenus en substituant au barreau de fer doux un barreau d'acier fondu de 68,6 centimètres de long sur 22,2 millimètres de diamètre, et dont l'hélice en fil de cuivre mince (de 0,7 millimètre d'épaisseur) renfermait 2850 tours du n° 25. Pendant le réchauffement de ce barreau un changement moléculaire brusque, bien que peu sensible, est survenu un peu au-dessous de la chaleur rouge. A la température de la chaleur rouge modérée, il s'est produit tout à coup un nouveau mouvement moléculaire, mais cette fois plus marqué. En continuant le réchauffement jusqu'au rouge vif, aucun changement n'a été constaté. On a alors éteint les becs de gaz, et après un intervalle de 30 secondes, il est survenu de nouveau un changement moléculaire peu marqué avec accroissement de magnétisme, et 15 secondes plus tard, un changement brusque et plus accentué indiqué par une déviation de 6° des aiguilles du galvanomètre, après quoi elles sont revenues à leur direction normale. Le barreau, qui n'était déjà plus rouge, ayant été arrosé avec de l'eau froide, il s'est produit une nouvelle déviation de 1°$^{3}/_{4}$, due probablement, au moins en partie, à la rapidité du refroidissement. Avec un barreau de fonte de 76,2 centimètres de long et 19 millimètres de diamètre, on a remarqué des effets analogues, mais beaucoup moins accentués que dans le cas du barreau d'acier.

L'auteur a répété la même expérience sur un barreau de nickel fondu, long de 45,7 centimètres sur 12,7 millimètres de diamètre, avec les résultats suivants. Pendant le réchauffement de ce barreau, on a remarqué une déviation graduelle de $1^{\circ}\,^{1}/_{4}$ à une température fort au-dessous de la chaleur rouge, et pendant le refroidissement, une déviation de $1^{\circ}\,^{1}/_{2}$ dans le sens opposé, à la même température ou à peu près. Avec un autre barreau du même métal de 61 centimètres de long sur 19 millimètres d'épaisseur, dont l'une des extrémités se trouvait placée dans une hélice de gros fil de cuivre de 15,2 centimètres de long sur 5,7 centimètres de diamètre, renfermant 8 couches, soit 536 tours du n° 17, et dont l'autre extrémité était enveloppée d'une hélice en fil de cuivre mince contenant 14 couches, soit 1960 tours du n° 27, on a remarqué, 4 minutes après avoir allumé les becs de Bunsen, une déviation des aiguilles assez subite mais irrégulière, à une température fort inférieure à la chaleur rouge visible à l'obscurité. En continuant à chauffer, on a constaté, à une température passablement plus élevée, mais encore au-dessous du rouge, des signes peu caractérisés d'une nouvelle perturbation moléculaire dans la même direction. Pendant le refroidissement graduel qui a suivi, les mêmes phénomènes se sont reproduits, avec le même degré d'intensité, mais dans l'ordre inverse. En refroidissant subitement le barreau par l'application continue d'eau froide, on a remarqué une déviation subite de 8° au moment où il a atteint la température de l'air extérieur. Toutes les déviations produites dans cette expérience, comme, au reste, dans presque tous les cas précédents, étaient conformes pendant le réchauffement, à celles qui seraient résultées d'une diminution de magnétisme, et pendant le refroidissement, à celles qu'aurait produites un accroissement de magnétisme.

En substituant aux précédents un barreau en zinc long de 91 centimètres sur 25,4 millimètres de diamètre, ou un barreau d'antimoine de même diamètre, mais de 76,2 centim.

de longueur, dont on chauffait le milieu jusqu'à une température très-voisine de la fusion, l'auteur n'a remarqué aucune déviation sensible dans les aiguilles du galvanomètre. Il en a été de même pour le bismuth. En répétant l'expérience sur un barreau d'antimoine du commerce renfermant une petite quantité de fer, on a remarqué pendant le réchauffement du barreau des changements moléculaires successifs à des intervalles peu réguliers, correspondant à des décroissements de magnétisme. Ces changements se sont renouvelés pendant le refroidissement, mais en sens inverse.

M. Gore termine en faisant remarquer que tous ces phénomènes semblent pouvoir se rapporter à une propriété générale de la matière, à peine encore reconnue comme telle. Toute substance, dit-il, jusqu'aux corps élémentaires, même ceux à l'état gazeux, lorsqu'ils se trouvent soumis à l'action d'un seule force extérieure, paraissent doués de la propriété de diviser l'action de cette force, de telle sorte, qu'au lieu de produire une seule force ou un seul effet, ils en produisent plusieurs. En d'autres termes, continue l'auteur, la matière possède la propriété générale de diviser et de multiplier les forces et les effets. C'est ainsi que, lorsqu'on chauffe un barreau de fer au rouge, il se produit, outre des modifications dans sa chaleur spécifique, sa capacité thermo-électrique et sa conductibilité électrique, une série de changements dans sa structure moléculaire, son magnétisme, ses dimensions et dans la cohésion de ses particules.

C. Tomlinson. De l'action de basses températures sur des solutions salines sursaturées. (*Philosophical Magazine*, octobre 1870.)

L'auteur cherche à montrer que, dans l'absence d'un *nucléus* ou noyau, des solutions fortement sursaturées, réduites à la température de —18° à —24° cent., se solidifient en hydrates instables plutôt que de cristalliser : et que si on

expose ces solutions ainsi solidifiées à la température de zéro, elles se liquéfient rapidement en solutions parfaitement transparentes, sans aucune séparation de sel. Ce phénomène peut être répété un nombre de fois indéfini, pourvu que la solution soit tenue à l'abri de noyaux ou de fluides capables de les transporter, tel que l'air atmosphérique. Il ne s'agit pour cela que de renfermer les solutions filtrées dans des tubes parfaitement propres, et fermés par un tampon en coton. Parmi un grand nombre d'expériences citées par l'auteur, nous choisirons les suivantes :

1° On chauffe jusqu'à ébullition, dans une petite quantité d'eau, les sulfates de zinc et de magnésie en proportions atomiques. Après avoir filtré ces solutions dans des éprouvettes, on les fait bouillir de nouveau, puis on bouche les éprouvettes avec des tampons en coton. Lorsque les liquides ont atteint la température de l'air ambiant, on place l'une des éprouvettes dans un mélange frigorifique à —24°. Après dix minutes environ, de grands cristaux tétraèdres commencent à naître, pour ainsi dire, sur les parois du tube, et continuent à croître, jusqu'à ce que la solution entière se trouve transformée en une masse solide. Si alors on transporte l'éprouvette dans de la glace fondante à zéro, aussitôt le solide se dissout rapidement, et la solution redevient parfaitement transparente. Pour peu cependant qu'on enlève le tampon en coton, même pour un instant, pendant que la solution est à l'état solide ou liquide, aussitôt elle se cristallise, dans le premier cas pendant la liquéfaction, et dans le second à l'instant même.

La solidification de la solution ne peut pas être assimilée à une congélation, puisqu'il n'y a pas de glace formée. Elle doit plutôt être envisagée comme un cas de cristallisation anormale des molécules du sel combinées avec celles de l'eau, qui ne peut se réaliser qu'à une température très-basse, et sous de certaines conditions. L'auteur se sert du terme « cristallisation anormale, » parce que la plupart des solu-

tions soumises à l'expérience, se sont comportées de la même manière, c'est-à-dire, se sont formées en cristaux tétraèdres à —18° environ, pour se redissoudre rapidement à la température de zéro.

2° Une solution sursaturée du sulfate double de cuivre et de magnésie a été refroidie à —20°, température à laquelle les cristaux tétraèdres se sont formés à la surface du liquide, les angles solides se développant graduellement de haut en bas, jusqu'à ce que la solution entière fût devenue solide. La couleur bleue foncée avait disparu, et avait été remplacée par un bleu très-pâle de nuances différentes. L'éprouvette ayant été placée dans de la glace fondante, peu à peu le solide a paru s'éloigner des parois du tube, tandis que la solution, devenue transparente, présentait l'apparence d'un bleu intense par contraste avec la nuance comparativement blanche du solide.

3° Des solutions de sulfate de zinc et d'alun potassique, en proportions atomiques, ont abandonné des cristaux tétraèdres à la température de —15,5. Après avoir laissé cristalliser le triple sel dans un vase ouvert, on en a pris 200 grains, lesquels, bouillis avec un peu plus d'une demi-once d'eau, ont fourni une solution transparente. Cette solution, après avoir été filtrée dans une éprouvette parfaitement propre, et fermée par un tampon en coton, a été laissée en repos pendant six jours. Au bout de ce temps, l'éprouvette ayant été placée dans un mélange frigorifique à —18°, bientôt on a vu se précipiter une poudre blanche, composée probablement de sulfate d'alumine basique et de sulfate de zinc anhydre, et sur cette poudre se développer une ramification blanchâtre, rappelant, par sa forme, la feuille de lierre, d'un brillant remarquable. L'auteur attribue cette apparence à une modification dans la forme des cristaux tétraèdres ; le même phénomène s'est présenté dans le cas d'une solution sursaturée du sulfate double de cuivre et de nickel, qui, à la température de —18°, a laissé précipiter de beaux cristaux ayant l'aspect

de plumes. Une solution sursaturée de sulfate de fer a fourni des cristaux tétraèdres, tandis qu'avec la solution de sulfate de zinc e d'ammoniaque, il s'est formé, à la température de —16°, de magnifiques cristaux en forme de plumes. Suivant M. Tomlinson, on ne peut guère se refuser d'admettre que tous ces cristaux tétraèdres sont des composés hydratés des solutions salines, et lorsque ces sels forment des solutions sursaturées, ils existent très-probablement sous la forme anhydre. Lorsque de pareilles solutions sont soumises à un fort refroidissement, l'eau ne peut se cristalliser en glace proprement dite, parce que les molécules salines sont trop nombreuses pour pouvoir être séparées des molécules aqueuses; mais ces mêmes molécules salines se trouvant amenées, par suite de la basse température, dans la sphère de leur attraction mutuelle, se réunissent en masses cristallines renfermant l'eau qui les entoure, et dans laquelle elles sont suspendues.

4° Lorsqu'on soumet à un froid artificiel une solution sursaturée de sulfate de soude, il se précipite des cristaux octaèdres du sel anhydre : ces cristaux s'emparent de l'eau et forment le sel anormal à sept atomes. Ce sel ne peut être exposé à l'air sans se réchauffer, en fixant trois nouveaux équivalents d'eau. Des solutions fortement sursaturées commencent ordinairement à précipiter le sel anhydre à diverses températures au-dessous de 15° à 16° ; mais l'auteur s'est assuré qu'il leur arrive quelquefois, lorsqu'on a soin de les laisser parfaitement immobiles, de supporter une température de —7° à —8° sans changement apparent. Il suffit alors d'imprimer à la solution la plus légère secousse pour la voir aussitôt perdre sa transparence avec formation subite d'une multitude de petits cristaux octaèdres.

On peut se demander dans quel état se trouve la solution ci-dessus réduite de 16° à 17° au-dessous de la température à laquelle elle dépose habituellement des cristaux anhydres. Ces cristaux sont-ils nés subitement ou existaient-ils déjà dans la solution dans un état moléculaire tel, qu'en leur

supposant le même indice de réfraction que celle-ci, ils ont dû nécessairement rester invisibles jusqu'à ce que, par suite de la secousse imprimée, l'eau qui entoure immédiatement les molécules salines, s'est trouvée rejetée de côté, et que les cristaux ont pu alors devenir visibles en acquérant une existence indépendante et un pouvoir réfringent qui leur est propre. De même on peut se demander si de l'eau à l'état liquide, refroidie de plusieurs degrés au-dessous du point de congélation, n'est autre qu'une solution sursaturée de glace, si à cette température la glace existe réellement, mais reste invisible par la raison qui vient d'être donnée. On peut objecter, il est vrai, qu'un sel, s'il était présent même à l'état invisible, se précipiterait toujours par suite de son poids. Mais outre que la viscosité du liquide peut mettre obstacle à cette précipitation, n'est-il pas permis d'imaginer un état d'adhésion entre les molécules d'un liquide moindre que ce qui est requis pour une dissolution, mais supérieure à celle qui est nécessaire à l'existence indépendante d'un cristal. Dans ces conditions un solide, bien que plus pesant qu'un liquide, pourrait y rester suspendu, et ne devenir visible que lorsque l'adhésion serait affaiblie par suite de quelque perturbation mécanique qui, en donnant au solide une existence indépendante, en amènerait nécessairement la précipitation. Quoi qu'il en soit de cette hypothèse peut-être un peu hasardée, et malgré quelques variations dans les résultats obtenus provenant soit du degré de saturation du liquide, soit de la durée de son exposition à une température exceptionnellement froide, l'auteur pense être fondé à conclure de ses expériences, « que des solutions fortement sursaturées, « principalement, mais pas uniquement de sels doubles, « soumises à une basse température, et mises à l'abri de « l'action de noyaux, fournissent des composés de différents « degrés d'hydratation, composés qui ne peuvent exister qu'à « ces températures, et lorsqu'ils se trouvent renfermés dans « des vases chimiquement propres. »

G. Luvini, professeur à l'Académie militaire de Turin. Expériences et observations sur l'adhésion entre solides et liquides. (*Compte rendu de l'Académie des sciences de Turin* du 19 juin, et *Philosophical Magazine*, septembre 1870.)

L'auteur commence par rappeler l'expérience de M. Plateau, dans laquelle une aiguille aimantée, de forme rhomboïdale, déviée de 90° de sa position d'équilibre, et abandonnée ensuite à elle-même, revient à sa direction normale avec une vitesse dépendant de sa longueur, de l'intensité magnétique de la terre et de l'aiguille, et de la résistance passive que peut rencontrer celle-ci pendant son mouvement de retour. Après avoir mesuré très-exactement le temps employé par l'aiguille pour traverser les premiers 85 degrés à l'air libre, M. Plateau place la surface inférieure de cette aiguille en contact avec un liquide, et détermine de nouveau le temps employé à parcourir les 85°. Il répète ensuite l'expérience en submergeant l'aiguille en entier dans le liquide. Au premier abord, on serait disposé à croire que, lorsque la surface seulement de l'aiguille se trouve en contact avec le liquide, la résistance qu'elle éprouve pour revenir à sa position d'équilibre doit être moindre que lorsqu'elle est plongée en totalité. Il n'en est cependant pas ainsi, du moins avec un grand nombre de liquides. Avec l'eau, en particulier, M. Plateau a consaté que c'est le contraire qui a lieu; c'est-à-dire, que l'aiguille revient plus lentement lorsqu'elle se trouve placée sur la surface de l'eau que lorsqu'elle plonge en entier dans ce liquide. Il en est de même de la glycérine, des solutions de carbonate de soude, de nitrate de potasse, de chlorure de calcium et d'albumine. L'inverse a lieu avec l'alcool, la térébenthine, l'huile d'olive, l'éther et le bisulfure de carbone; c'est-à-dire que, dans ces cas, l'aiguille, suspendue sur la surface du liquide, se meut plus rapidement que lorsqu'elle est complétement submergée.

M. Luvini a repris les expériences de M. Plateau, en vue d'abord de déterminer jusqu'à quel point les résultats obtenus par ce savant sur l'adhésion des solides pour les liquides ont pu être influencés par la présence d'impuretés, le plus souvent presque inappréciables, mais, dans tous les cas, très-difficiles à éviter, soit dans le liquide même, soit dans le vase qui le renferme. Il a bientôt reconnu que la classe de phénomènes découverts par M. Plateau, ne pouvait être convenablement approfondie sans un examen préalable de la manière dont se comportent des solides de nature et de forme variées, mis en mouvement sur la surface d'un liquide, ou submergés dans ce même liquide. Dans les recherches qu'il a entreprises à ce sujet, M. Luvini a eu l'idée de substituer à la force magnétique dont se servait M. Plateau, la force de torsion obtenue au moyen de la balance de Coulomb. Dans ce but, il attache au fil de métal de cette balance, le solide destiné à être mis en contact avec un liquide quelconque renfermé dans un vase placé dans l'intérieur de l'instrument. Le fil porte à son extrémité un index horizontal, se mouvant dans un arc de cercle gradué fixé à la partie inférieure de la cage. Au moyen d'un arrangement très-simple, une vis, fixée à la partie supérieure de l'instrument et portant une petite tige, permet de suspendre à volonté le mouvement de l'index, ou de le laisser libre dans sa marche.

Le solide ayant été disposé horizontalement dans la position voulue par rapport au liquide, le fil de métal est équilibré de manière à ce que l'index se trouve placé vis-à-vis de la petite tige destinée à l'arrêter. On y parvient facilement en tournant le cercle mobile qui se trouve au sommet de la balance. Alors l'index s'arrête, et le fil se trouve tordu d'un certain nombre de degrés, soit à droite, soit à gauche. On enlève ensuite la petite tige d'arrêt : aussitôt l'index se met en mouvement, mais au premier moment, d'une façon peu régulière, ainsi que cela avait lieu dans le cas de l'aiguille de Plateau. L'observateur attend que l'index soit arrivé à 5° de

sa position d'équilibre; alors partant d'un point connu, il compte le nombre de degrés qu'il parcourt dans un nombre donné de secondes. On a soumis ainsi successivement à l'expérience, un grand nombre d'aiguilles et de disques de forme et de dimension différentes, en laiton, cuivre, fer, acier, verre, bois, etc. Les disques étaient tantôt de forme rhomboïdale, tantôt rectangulaires, tantôt circulaires, ou en segments de cercle, quelquefois percés d'ouvertures de forme circulaire, ou en forme de secteur, s'étendant jusqu'à la circonférence, mais laissant une limite annulaire.

Les premiers essais de M. Luvini ont eu lieu sur l'eau, tantôt parfaitement pure, et tantôt renfermant en solution des substances connues. Dès qu'il a pu s'assurer de la concordance de ses résultats, il a fait une série de 185 expériences, dont la plupart renfermaient 8 observations. Les conséquences auxquelles il est arrivé peuvent être classées dans l'ordre suivant :

1° La résistance de la surface du liquide au mouvement des disques disposés horizontalement ne varie pas avec le degré de leur immersion. Cette résistance est la même, soit que la surface du disque touche à peine celle du liquide, soit que cette surface se trouve submergée en partie ou même en entier. Il en est de même lorsque le disque est enfoncé au-dessous de la surface du liquide, ou lorsque celui-ci se trouve soulevé par l'effet de la capillarité autour du disque, comme aussi lorsque le disque, enlevé subitement à la suite d'une immersion, reste en contact avec la couche liquide qu'il soulève avec lui.

2° La résistance des liquides au mouvement des solides placés soit à leur surface, soit au-dessous de cette surface, croît avec la durée de l'exposition de ces liquides à l'air, et avec le contact plus ou moins prolongé du liquide avec les solides. Cet accroissement dans la résistance des liquides avec le temps, ne peut provenir, suivant M. Luvini, que d'une altération plus ou moins rapide de ceux-ci, altération

qui serait due, soit à l'action adhésive de l'air, soit à un dépôt de poussière impalpable. Il est, en effet, si difficile de conserver un liquide à l'état de parfaite pureté, qu'il suffit souvent d'en toucher la surface avec le doigt pour lui enlever sa faculté d'adhésion pour d'autres liquides. L'action de la poussière atmosphérique devient ainsi facile à comprendre.

L'accroissement dans la résistance des liquides, suivant la durée de leur contact avec les corps solides, s'explique facilement par la considération qu'un contact prolongé permet à une plus grande masse de liquide d'adhérer au solide. Une adhésion de même nature peut avoir lieu entre solides, et mieux encore entre solides et liquides. Qu'on plonge momentanément dans de l'eau une plaque de laiton parfaitement propre, elle en ressortira sèche ou à peu près. Si au lieu de la retirer immédiatement, on la laisse plongée pendant quelques heures, on remarquera, en la ressortant de l'eau, que les parties mouillées occupent un espace d'autant plus grand que l'immersion a été plus prolongée. Ce fait est surtout remarquable lorsqu'on plonge des disques de verre ou d'acier dans du mercure. Le mercure, après avoir été lavé, séché et filtré, paraît parfaitement propre, mais, dès qu'on en a versé quelques gouttes sur une plaque de verre ou d'acier, il fait la queue. Cependant, les plaques en question, soit qu'elles se trouvent posées sur la surface du mercure, soit qu'elles soient entièrement submergées, ne se sont pas moins laissé entraîner par la torsion du fil de la balance de Coulomb; seulement, au bout de quelques minutes la résistance est devenue telle, qu'elles n'ont pu se mouvoir que sous la torsion d'un fil plus fort. On a trouvé, en les examinant de près, que les points attaqués par le mercure devenaient d'autant plus nombreux et plus étendus que le contact était plus prolongé.

3° La résistance d'un même liquide varie avec la nature du solide soumis à l'expérience. L'auteur fait remarquer à ce

propos que, si à la place d'une aiguille d'acier, M. Plateau s'était servi d'une aiguille de verre ou de toute autre substance, les résultats auxquels il est arrivé n'auraient plus été les mêmes. A l'appui de cette assertion, il cite l'expérience suivante : Une plaque de fer étamé, ayant été mise en contact avec une surface aqueuse, celle-ci a été assez rapidement modifiée par suite de l'oxydation du fer et d'autres influences difficiles à expliquer. Cependant, cette plaque de fer étamé, de même qu'une plaque semblable en laiton ont éprouvé une égale résistance sur la surface de l'eau ainsi modifiée, tandis qu'au-dessous de cette surface, la résistance qu'a rencontrée cette plaque de laiton était notablement moindre que celle éprouvée par la plaque de fer étamé.

4° La résistance qu'offre la surface des liquides au mouvement des corps solides peut être distinguée en résistance *linéaire* et résistance *superficielle*, tandis qu'au-dessous de la surface elle ne peut être que superficielle. Cette distinction n'est pas sans importance. La résistance qu'éprouve le corps lorsque sa surface est en contact avec un liquide, diffère de la résistance qu'il rencontre à la ligne de séparation entre la surface du liquide et la surface supérieure du solide. C'est cette dernière que l'auteur désigne sous le nom de résistance linéaire, tandis qu'il qualifie la première de résistance superficielle. Il ne peut évidemment y avoir de résistance linéaire lorsque le solide est entièrement submergé, tandis que la résistance superficielle, dans le cas de plaques minces submergées en entier, est sensiblement double de celle qui a lieu à la surface.

Les complications et irrégularités apparentes dans les résultats obtenus, en soumettant à l'expérience des solides de forme et de contour différents, disparaissent lorsqu'on tient compte de la distinction dont nous venons de parler. En immergeant des plaques d'une même substance dans le même liquide, l'auteur a remarqué, dans quelques cas, une résistance moindre au-dessous de la surface. circonstance due évidem-

ment à la forme du solide. Cette remarque, au reste, avait déjà été faite par M. Plateau, dans le cas de l'aiguille plongée dans de l'eau et dans différentes solutions salines. Dans d'autres cas, au contraire, la résistance s'est trouvée moindre à la surface du liquide qu'au-dessous de cette surface, contrairement aux résultats obtenus par le savant belge.

J.-J. Müller. Ueber elastische, etc. Sur les mouvements vibratoires. (*Berichte der k. Sächs. Gesellschaft d. Wiss.*, 1870 ; *Pogg. Ann.*, tome CXL, p. 305.)

M. Weber avait déjà remarqué que, pour chaque corps vibratoire, la hauteur du son rendu varie avec l'amplitude du mouvement oscillatoire. M. Régnault a confirmé ce fait dans ses belles recherches sur la propagation du son, et il a trouvé que la vitesse de transmission d'un son augmente avec son intensité. L'auteur s'est occupé de la même question, et décrit dans la Note dont nous rendons compte ici, une expérience ingénieuse, mettant en évidence ce point intéressant de l'étude des mouvements vibratoires. Sa méthode est une extension de celle qu'avait indiquée M. Kundt pour la mesure de la vitesse du son dans différents corps. On introduit une certaine quantité de lycopode dans un cylindre de verre et le répartit suivant une ligne droite qu'on amène à être un peu au-dessus de la génératrice inférieure de ce cylindre. Cela étant, lorsqu'on fait vibrer le tube de verre, l'on voit se former à la partie inférieure seulement de la bande de lycopode des stries régulières identiques aux figures de Kundt. En retournant un peu le tube de manière à amener la bande de lycopode de l'autre côté de la génératrice inférieure et faisant vibrer de nouveau, l'on pourra obtenir une seconde figure acoustique sans rien déranger à la première ; la comparaison de ces deux figures donnera la variation que la longueur d'onde à subie entre les deux expériences, multipliée par le nombre de longueurs d'onde renfermées dans le tube. M.

Müller a reconnu de la sorte qu'une augmentation dans l'intensité du mouvement oscillatoire produit une diminution de la longueur d'onde, partant une élévation du son rendu, et une augmentation de la vitesse de propagation. E. S.

LOMMEL. DÉCHARGE ÉLECTRIQUE DANS LES MARTEAUX D'EAU. (*Pogg. Ann.*, tome CXLI, p. 460.)

On sait que pour faire passer la décharge électrique dans un tube de Geissler, il n'est pas nécessaire de relier les électrodes de ce tube avec la bobine d'induction, mais qu'il suffit d'enrouler les fils qui viennent de cette bobine autour des extrémités du tube, ou de les mettre en contact avec des armures de papier d'étain disposées aux deux bouts de ce tube et sans contact avec les électrodes. L'étincelle se produit alors par influence, et on se souvient que M. Geissler a construit sur ce principe des tubes électriques qui deviennent lumineux par le simple frottement [1]. On peut, de la sorte, faire jaillir l'étincelle dans un thermomètre, et en soudant à l'extrémité fermée de ce thermomètre un tube ou une ampoule qui l'enveloppe et qu'on puisse remplir d'un liquide quelconque, on a l'appareil le plus simple pour l'essai des liquides au point de vue de la fluorescence.

L'auteur a cherché à faire passer de cette façon, la décharge électrique à travers un marteau d'eau, muni d'armatures en papier d'étain à ses deux extrémités. L'expérience n'a pas réussi avec la bobine d'induction, par le fait que l'électricité qu'elle fournit ne possède pas une tension suffisante ; elle a été très-brillante en revanche avec l'emploi de la machine de Holtz.

Lorsqu'on écartait les électrodes de la machine, de manière à obtenir une faible décharge continue, l'on voyait se produire, dans la partie vide du marteau placé horizontalement, une

[1] Voyez *Archives*, 1869, tome XXXIV, p. 181.

belle lueur blafarde semblable à celle des éclairs de seconde classe, et, lorsqu'on écartait davantage les électrodes, il se produisait par intervalles dans ce tube de magnifiques étincelles sous forme de traits de feu. Le marteau d'eau jouait ici le rôle de bouteille de Leyde. Lorsque le liquide qu'il renfermait était de l'eau distillée, le jet lumineux était d'un beau rouge de pourpre, et son spectre, étudié avec un simple prisme qui, dans ce cas, et à cause de l'étroitesse du jet, vaut mieux qu'un spectroscope complet avec une fente, se trouvait composé des lignes brillantes de l'hydrogène et de la ligne du sodium. Après le passage prolongé de la décharge, on constatait la production d'un gaz dans son intérieur, par le fait qu'il ne donnait plus un coup sec ; de plus, l'eau qu'il renfermait était devenue alcaline par l'absorption de la soude provenant du verre.

Les marteaux qui contenaient un mélange d'alcool et d'eau, ou de l'alcool absolu, donnèrent une étincelle vert claire, dont le spectre consistait en une raie verte très-brillantes, deux raies vert-jaune, et bleue, moins brillantes, enfin deux raies rouges, et une raie violette faible. Ce spectre présentait une grande analogie avec la portion verte de la flamme d'un bec de Bunsen, ce qui indiquerait que le passage de l'étincelle dans le marteau a décomposé l'alcool et formé de l'hydrogène carboné. Ici encore, on pouvait constater la production d'un gaz par la nature du choc. Le liquide du marteau donnait, dans ce cas, après un passage prolongé de la décharge, une réaction acide. L'auteur établit un rapprochement entre le spectre fourni par le marteau à alcool et le spectre à lignes brillantes des éclairs de première classe, tel que l'a décrit M. Kundt[1]. Il y aurait peut-être lieu aussi de comparer les différents spectres obtenus avec des marteaux au spectre de l'Aurore boréale. E. S.

[1] *Archives*, 1868, tome XXXIII, p. 348.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES A L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

sous la direction de

M. le prof. E. PLANTAMOUR

PENDANT LE MOIS DE DÉCEMBRE 1870.

Le 1, 2 et 3, forte bise.
3, neige dans la soirée et le lendemain matin, hauteur 23mm.
8, neige pendant presque tout le jour, hauteur 100mm.
10, brouillard une partie de la journée.
12, 13, brouillard tout le jour.
14, la neige a disparu de la plaine et du sommet du petit Salève.
15, brouillard pendant quelques heures.
25. 26. neige; la hauteur de la neige tombée pendant ces deux jours est de 157mm; il est encore tombé de la neige le 27, le 30 et le 31, en petite quantité, respectivement 3mm, 25mm et 4mm.

Valeurs extrêmes de la pression atmosphérique.

MAXIMUM.	mm
Le 2 à 10 h. soir	730.39
5 à 10 h. matin	730,85
10 à 10 h. matin	726,20
18 à 10 h. soir	733,59
24 à 8 h. matin	719,29
28 à 10 h. matin	717,27
31 à 10 h. matin	727,53

MINIMUM.	mm
Le 2 à 6 h. matin	727,39
4 à 6 h. matin	720,54
8 à midi $^1/_4$ h.	712,65
12 à 4 h. après m.	721,35
22 à 6 h. matin	712,53
25 à 6 h. soir	707,70
29 à 6 h. matin	714.64

Jours du mois.	Baromètre.		Température C.				Tension de la vap.		Fract. de saturation en millièmes.				Pluie ou neige		Vent dominant.	Clarté moy. du Ciel.	Temp. du Rhône		Limnimètre à 11 h.
	Hauteur moy. des 24 h.	Écart avec la hauteur normale	Moyenne des 24 heures	Écart avec la temp. normale.	Minim.	Maxim.	Moy. des 24 h.	Écart avec la tension normale.	Moy. des 24 h.	Écart avec la fraction norm.	Minim.	Maxim.	Eau tomb. d. les 24 h.	Nomb. d'h.			Midi.	Écart avec la temp. normale.	
	millim.	millim.	°	°	°	°	millim.	millim.					mm.				°	°	cm.
1	728,66	+ 1,55	— 0,39	—2,71	— 2,8	+ 2,2	3,58	—1,00	816	— 38	750	870	...	...	NNE. 3	0,57	7,0	— 1,2	158
2	728,56	+ 1,41	— 3,22	—5,41	— 4,7	— 1,6	2,57	—1,98	720	—134	580	820	...	...	N. 3	0,14	5,4	— 2,7	157
3	727,65	+ 0,47	— 3,75	—5,81	— 4,5	— 1,4	2,54	—1,98	749	—106	590	960	0,6	3	NNE. 2	0,69	6,7	— 1,3	149
4	723,80	— 3,42	— 3,80	—5,74	— 6,8	— 1,4	3,10	—1,39	914	+ 59	830	940	0,7	4	NNE. 1	0,83	—	—	150
5	730,19	+ 2,94	— 6,70	—8,52	— 8,1	— 5,1	2,41	—2,05	888	+ 33	850	940	...	...	NE. 1	1,00	6,2	— 1,5	148
6	723,45	— 3,84	— 6,23	—7,93	— 7,8	— 4,2	2,71	—1,72	955	+ 99	870	1000	...	...	variable	1,00	5,6	— 2,0	145
7	715,79	—11,54	— 4,22	—5,80	— 6,1	— 2,0	2,94	—1,46	882	+ 26	800	970	...	...	SO. 1	1,00	5,0	— 2,5	144
8	713,36	—14,00	— 5,42	—6,88	— 7,0	— 4,1	2,85	—1,52	946	+ 89	920	960	6,6	17	SO. 1	1,00	4,7	— 2,7	142
9	721,83	— 5,57	— 3,40	—4,75	— 7,9	+ 1,0	3,21	—1,13	905	+ 48	760	1000	0,3	1	variable	0,81	4,9	— 2,4	140
10	725,48	— 1,95	— 7,03	—8,26	—13,0	— 2,0	2,59	—1,72	911	+ 53	750	1000	...	...	SSO. 1	0,80	4,7	— 2,5	139
11	724,41	— 3,06	— 5,74	—6,87	—11,0	— 1,0	2,76	—1,52	898	+ 40	790	980	...	...	SSO. 1	0,89	—	—	138
12	722,03	— 5,48	— 2,48	—3,50	— 4,9	— 0,3	3,67	—0,57	955	+ 96	880	1000	17,9	11	ESE. 1	1,00	5,6	— 1,4	147
13	723,38	— 4,16	+ 1,33	+0,41	— 0,6	+ 3,1	4,96	+0,75	982	+122	930	1000	...	...	SSO. 1	0,97	5,8	— 1,1	146
14	722,99	— 4,59	+ 8,05	+7,22	+ 2,7	+11,2	6,66	+2,48	803	— 58	700	860	1,0	4	variable	1,00	6,3	— 0,6	144
15	723,69	— 3,93	+10,17	+9,43	+ 7,0	+13,2	7,96	+3,81	854	— 8	740	1000	0,1	1	NNE. 1	1,00	6,5	— 0,3	143
16	725,16	— 2,48	+11,14	+10,49	+10,6	+13,2	8,88	+4,75	916	+ 54	850	970	12,8	11	SO. 1	0,93	6,6	— 0,1	142
17	727,62	— 0,04	+ 7,96	+7,40	+ 3,8	+11,3	5,84	+1,73	745	—118	610	870	...	...	SSO. 1	0,60	6,7	+ 0,1	141
18	732,11	+ 4,43	+ 6,18	+5,71	+ 2,8	+13,0	5,31	+1,22	744	—120	560	910	0,3	1	variable	0,72	—	—	140
19	730,33	+ 2,63	+ 4,48	+4,09	+ 0,4	+ 9,1	4,39	+0,31	696	—168	570	830	...	...	SSO. 1	0,87	6,3	— 0,1	140
20	721,06	— 6,65	+ 5,89	+5,58	+ 4,3	+ 8,5	5,70	+1,63	823	— 42	740	870	0,4	2	S. 1	0,86	6,5	+ 0,1	139
21	713,68	—14,04	+ 3,68	+3,44	+ 2,0	+ 6,3	5,26	+1,20	893	+ 28	820	940	3,1	7	SSO. 1	0,99	6,4	+ 0,1	138
22	713,14	—14,59	— 2,70	—2,86	— 6,0	+ 2,0	2,99	—1,07	819	— 47	750	860	...	...	NNE. 2	1,00	6,3	+ 0,1	138
23	716,79	—10,95	— 8,67	—8,76	—10,8	— 6,0	1,62	—2,43	721	—145	640	850	...	...	NNE. 2	0,96	4,4	— 1,7	137
24	718,46	— 9,30	—10,53	-10,56	—12,0	— 9,0	1,54	—2,51	786	— 81	670	910	...	...	NNE. 2	0,98	4,0	— 2,0	134
25	709,74	—18,03	— 9,19	—9,17	—10,8	— 8,2	1,99	—2,06	901	+ 34	830	950	2,2	8	NE. 2	0,98	—	—	132
26	713,98	—13,81	— 6,50	—6,42	— 9,0	— 4,8	2,54	—1,50	913	+ 45	840	960	3,3	7	SSO. 1	1,00	4,0	— 1,9	130
27	716,37	—11,43	— 7,64	—7,51	— 8,2	— 6,4	2,36	—1,68	946	+ 78	860	1000	0,2	2	O. 1	1,00	4,0	— 1,8	129
28	716,42	—11,40	— 6,09	—5,90	— 9,2	— 3,0	2,61	—1,43	896	+ 27	820	950	...	...	SSO. 1	0,88	3,7	— 2,1	128
29	715,68	—12,15	— 5,55	—5,31	— 6,4	— 3,5	2,48	—1,56	846	— 24	800	910	...	...	NE. 2	1,00	3,6	— 2,1	127
30	721,59	— 6,26	— 6,47	—6,19	— 7,6	— 4,8	2,44	—1,59	887	+ 17	810	950	1,1	5	SO. 1	0,98	3,3	— 2,3	126
31	726,86	— 1,01	— 6,41	—6,09	— 8,0	— 4,9	2,38	—1,65	855	— 15	730	940	0,3	3	variable	1,00	3,6	— 2,0	125

MOYENNES DU MOIS DE DÉCEMBRE 1870.

	6 h. m.	8 h. m.	10 h. m.	Midi.	2 h. s.	4 h. s.	6 h. s.	8 h. s.	10 h. s.
Baromètre.									
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	723,68	723,83	724,25	723,76	723,56	723,82	724,07	724,22	724,27
2e »	725,43	725,64	725,99	725,31	724,81	724,79	724,79	724,88	725,02
3e »	716,25	716,57	716,97	716,43	716,27	716,69	716,93	717,06	717,39
Mois	721,61	721,83	722,22	721,66	721,37	721,60	721,77	721,89	722,07
Température.									
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1re décade	— 5,46	— 5,17	— 4,17	— 3,24	— 2,68	— 3,41	— 4,11	— 4,69	— 5,24
2e »	+ 3,51	+ 3,20	+ 4,31	+ 5,83	+ 6,64	+ 5,93	+ 5,12	+ 5,23	+ 5,17
3e »	— 6,23	— 6,35	— 5,98	— 5,30	— 5,35	— 5,65	— 5,96	— 6,12	— 6,45
Mois	— 2,84	— 2,89	— 2,08	— 1,04	— 0,62	— 1,19	— 1,79	— 2,00	— 2,31
Tension de la vapeur.									
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	2,69	2,76	2,94	2,94	3,07	2,96	2,94	2,84	2,77
2e »	5,48	5,47	5,63	5,84	5,83	5,60	5,57	5,65	5,72
3e »	2,70	2,61	2,63	2,70	2,60	2,64	2,55	2,50	2,41
Mois	3,59	3,58	3,70	3,79	3,79	3,70	3,65	3,62	3,59
Fraction de saturation en millièmes.									
1re décade	884	875	861	805	822	832	873	891	909
2e »	882	896	864	814	776	791	820	829	837
3e »	906	877	870	845	820	851	844	829	835
Mois	891	883	865	822	807	826	845	849	859

	Therm. min.	Therm. max.	Clarté moy. du Ciel.	Température du Rhône.	Eau de pluie ou de neige.	Limnimètre.
	0	0		0	mm	cm
1re décade	— 6,87	— 1,86	0,78	5,58	8,2	147,2
2e »	+ 1,51	+ 8,13	0,88	6,29	32,5	142,0
3e »	— 7,82	— 3,85	0,98	4,37	10,2	131,1
Mois	— 4,50	+ 0,66	0,88	5,34	50,9	139,9

Dans ce mois, l'air a été calme 2,87 fois sur 100.

Le rapport des vents du NE. à ceux du SO. a été celui de 1,20 à 1,00.

La direction de la résultante de tous les vents observés est N. 0°,4 E., et son intensité est égale à 12,7 sur 100.

TABLEAU

DES

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AU SAINT-BERNARD

pendant

LE MOIS DE DÉCEMBRE 1870.

Le 1,	brouillard	depuis 10 h. du matin.
3,	id.	depuis 4 h. du soir.
4,	id.	jusqu'à 4 h. du soir.
6,	id.	jusqu'à midi.
7,8,9,	id.	tout le jour.
13,	id.	une partie de la journée.
14,	id.	toute la journée.
15,	id.	depuis 10 h. du matin.
16,	id.	jusqu'à 4 h. du soir.
17,	id.	depuis 8 h. du matin.
18, 19,	id.	tout le jour.

Valeurs extrêmes de la pression atmosphérique.

MAXIMUM	mm	MINIMUM.	mm
Le 2 à 10 h. soir	557,45	Le 2 à 6 h. matin	554,85
5 à midi	559,98	4 à 6 h. matin	552,71
15 à 10 h. soir	564,57	8 à 4 h. soir	545,02
18 à 10 h. soir	565,87	17 à 2 h. après m.	562,25
28 à 10 h. soir	550,16	23 à 10 h. soir	543,80
31 à 10 h. matin	555,90	29 à 2 h. après m.	548,70

Jours du mois	Baromètre. Hauteur moy. des 24 heures.	Baromètre. Écart avec la hauteur normale.	Baromètre. Minimum.	Baromètre. Maximum	Température C. Moyenne des 24 heures.	Température C. Écart avec la température normale.	Température C. Minimum*	Température C. Maximum*	Pluie ou neige. Hauteur de la neige.	Pluie ou neige. Eau tombée dans les 24 h.	Pluie ou neige. Nombre d'heures.	Vent dominant.	Clarté moyenne du Ciel.
	millim.	millim.	millim.	millim.	0	0	0	0	millim.	millim			
1	557,78	— 4,17	556,92	559,00	—14,74	— 8,02	—17,0	—13,0	.....	.....	....	NE. 1	0,73
2	556,43	— 5,50	554,85	557,45	—20,97	—14,17	—22,3	—19,1	.....	.....	....	NE. 1	0,13
3	554,32	— 7,59	553,12	555,37	—19,58	—12,70	—22,9	—16,0	.....	.....	....	NE. 2	0,52
4	555,36	— 6,53	552,71	558,35	—19,85	—12,89	—20,8	—19,0	40	4,5	4	SO. 1	0,58
5	559,68	— 2,19	558,84	559,98	—15,32	— 8,28	—18,5	—13,2	.....	.....	....	variable	0,01
6	556,10	— 5,75	554,05	558,04	—12,46	— 5,34	—13,1	—11,5	.....	.....	....	SO. 1	0,57
7	550,12	—11,70	549,66	550,97	— 9,82	— 2,61	—10,4	— 8,6	.....	.....	....	SO. 1	0,82
8	545,59	—16,21	545,02	546,54	—11,68	— 4,39	—15,8	— 8,3	50	4,2	4	NE. 1	0,99
9	552,72	— 9,06	549,07	555,65	—14,84	— 7,47	—15,7	—13,0	.....	.....	....	NE. 3	1,00
10	556,75	— 5,01	555,85	557,40	—11,51	— 4,07	—16,1	— 8,8	.....	.....	....	variable	0,04
11	558,13	— 3,61	557,43	559,06	— 6,82	+ 0,69	— 9,0	— 3,5	.....	.....	....	SO. 1	0,30
12	559,73	— 1,99	559,35	560,24	— 5,53	+ 2,05	— 6,6	— 4,5	20	1,7	2	SO. 1	0,63
13	561,25	— 0,45	560,28	562,19	— 2,29	+ 5,36	— 4,5	— 0,5	35	4,7	10	SO. 1	0,59
14	562,90	+ 1,22	562,13	563,23	+ 1,01	+ 8,73	— 0,2	+ 2,4	.....	.....	....	SO. 1	0,83
15	563,96	+ 2,30	562,89	564,57	+ 2,21	+ 9,99	+ 1,8	+ 3,4	.....	4,3	4	SO. 1	0,80
16	563,56	+ 1,92	563,05	564,12	+ 0,30	+ 8,14	— 2,2	+ 2,6	35	5,5	6	SO. 1	0,77
17	562,53	+ 0,90	562,25	563,19	— 5,41	+ 2,49	— 7,2	— 3,0	.....	.....	....	NE. 1	0,86
18	564,41	+ 2,80	563,33	565,87	— 7,99	— 0,03	— 8,7	— 7,0	.....	.....	....	NE. 3	1,00
19	563,04	+ 1,45	561,45	564,13	— 5,52	+ 2,50	— 8,8	— 3,5	.....	.....	....	NE. 3	0,80
20	556,27	— 5,30	553,73	558,70	— 5,65	+ 2,43	— 7,7	— 3,2	.....	.....	....	NE. 1	0,37
21	549,07	—12,49	547,77	550,76	— 9,30	— 1,17	—10,5	— 7,4	100	8,2	4	NE. 1	0,06
22	545,35	—16,20	544,63	546,51	—15,16	— 6,98	—19,0	—12,4	.....	.....	....	NE. 1	0,00
23	543,94	—17,59	543,80	544,21	—23,43	—15,20	—27,0	—21,0	.....	.....	....	NE. 2	0,00
24	545,77	—15,74	543,82	547,83	—22,11	—13,83	—26,8	—18,2	.....	.....	....	NE. 2	0,11
25	547,19	—14,30	546,48	548,16	—18,21	— 9,88	—20,0	—17,0	.....	.....	....	SO. 2	0,00
26	548,06	—13,41	546,99	548,76	— 9,91	— 1,54	—14,1	— 8,4	50	4,3	4	SO. 1	0,00
27	547,95	—13,51	546,26	549,16	— 9,41	— 1,00	—12,2	— 6,4	.....	.....	....	NE. 1	0,00
28	549,41	—12,03	548,21	550,16	—12,20	— 3,75	—12,8	—11,0	75	3,5	4	SO. 2	0,00
29	548,91	—12,51	548,70	549,35	—10,62	— 2,13	—12,3	— 8,5	85	2,2	4	SO. 1	0,00
30	552,51	— 8,89	549,66	555,25	—11,42	— 2,89	—13,8	— 9,5	.....	.....	....	SO. 1	0,00
31	555,37	— 6,01	554,63	555,90	—14,63	— 6,06	—16,8	—11,0	.....	.....	....	variable	0,00

Les chiffres renfermés dans ces colonnes donnent la plus basse et la plus élevée des températures observées depuis 6 heures du matin à 10 heures du soir, le thermométrographe étant hors de service.

MOYENNES DU MOIS DE DÉCEMBRE 1870.

	6 h. m.	8 h. m.	10 h. m.	Midi.	2 h. s.	4 h. s.	6 h. s.	8 h. s.	10 h. s.
Baromètre.									
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	554,12	554,30	554,65	554,63	554,42	554,56	554,56	554,69	554,83
2e »	561,46	561,67	561,81	561,72	561,50	561,59	561,53	561,58	561,72
3e »	548,06	548,43	548,54	548,36	548,47	548,66	548,61	548,77	549,00
Mois	554,34	554,59	554,79	554,69	554,59	554,73	554,70	554,81	554 98
Température.									
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1re décade	—15,54	—15,97	—14,85	—13,54	—14,16	—14,48	—15,41	—15,05	—15,20
2e »	— 3,72	— 3,87	— 2,77	— 2,34	— 2,78	— 3,69	— 3,84	— 3,76	— 3,86
3e »	—15,58	—14,75	—14,13	—13,00	—12,49	—13,38	—14,23	—14,34	—14,57
Mois	—11,74	—11,64	—10,70	— 9,74	— 9,90	—10,61	—11,26	—11,15	—11,32

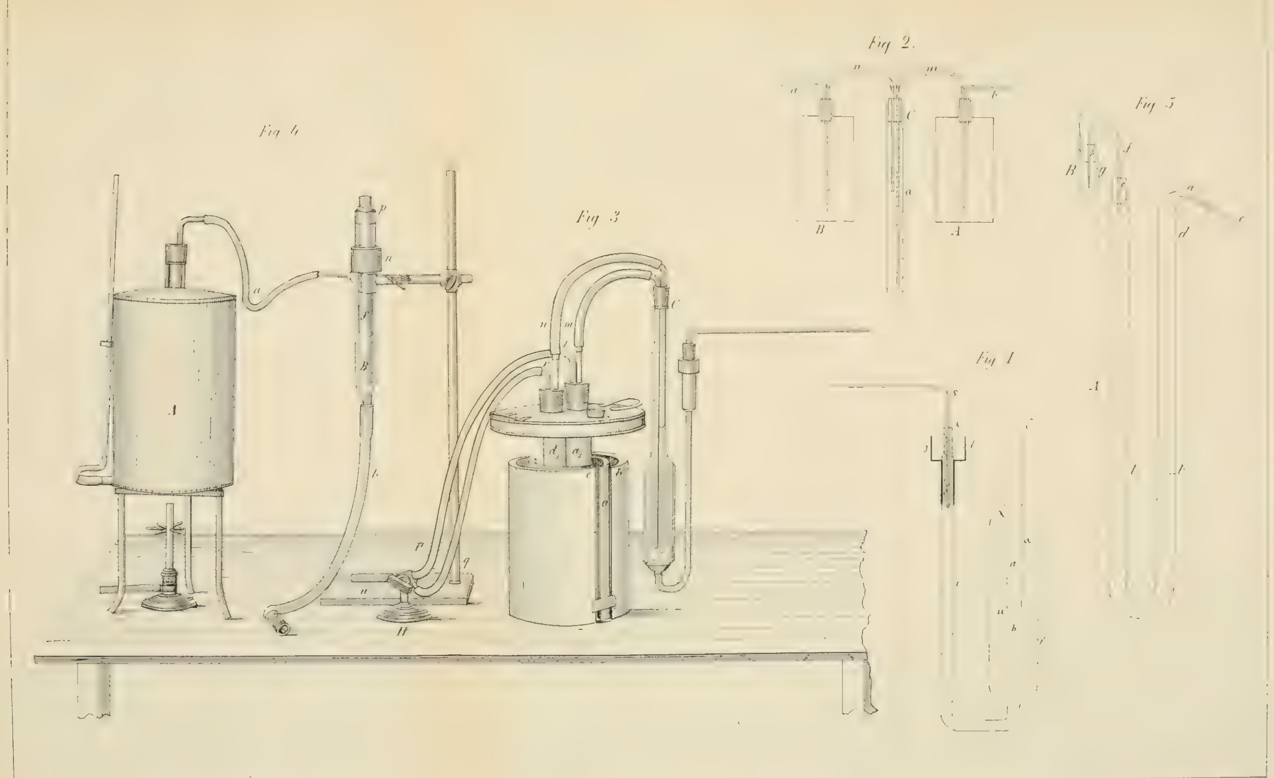
	Min. observé.*	Max. observé.*	Clarté moyenne du Ciel.	Eau de pluie ou de neige.	Hauteur de la neige tombée.
	0	0		mm	mm
1re décade	−17,26	−13,05	0,54	8,7	90
2e »	− 5,31	− 1,68	0,70	16,2	90
3e »	−16,85	−11,89	0,15	18,2	310
Mois	−13,26	− 8,97	0,40	43,1	490

Dans ce mois, l'air a été calme 9,3 fois sur 100.

Le rapport des vents du NE. à ceux du SO. a été celui de 1,78 à 1,00.

La direction de la résultante de tous les vents observés est N. 45° E., et son intensité est égale à 33,3 sur 100.

* Voir la note du tableau.


Fig 4
Fig 3
Fig 2.
Fig 1
Fig 5

MÉMOIRE

SUR

LA VISION BINOCULAIRE

PAR M. RAOUL PICTET

(Extrait communiqué par l'auteur.)

I

Dans cette notice, résumé succinct d'un mémoire[1] sur la vision binoculaire, nous ne pouvons donner qu'un rapide aperçu des questions qui y sont traitées ; nous sommes forcé, pour ne pas sortir du cadre qui nous est assigné, de supprimer tout l'historique du sujet et de nous contenter d'exposer la méthode expérimentale suivie pour arriver à quelques conclusions certaines sur les faits complexes que nous avons à étudier.

Nous supposons donc tous les phénomènes de la vision binoculaire connus ; ils sont décrits avec beaucoup de soin dans l'ouvrage de M. Helmholtz.

Nous mentionnerons cependant un point essentiel, que nous n'avons pas trouvé dans les travaux de physiologie optique, c'est que toutes les fois que nous voyons des images doubles, elles revêtent l'apparence d'une transparence parfaite en totalité ou seulement sur une zone à contours limités suivant la direction des axes optiques.

Nous donnerons plus loin l'explication de cette transparence apparente et les causes qui la modifient.

[1] Le mémoire complet paraîtra probablement sous peu à Saint-Pétersbourg.

Nous nous trouvons en présence de deux théories principales qu'il s'agit d'étudier et de critiquer. Nous allons le faire aussi brièvement que possible :

Exposons d'abord la théorie nativistique, la première en date et qui compte parmi ses défenseurs des autorités scientifiques.

On sait que la rétine est formée d'une série de couches dont une, celle des cônes et des bâtonnets, représente l'épanouissement du nerf optique : c'est elle qui est sensible à la lumière, et qui reçoit l'impression lumineuse des objets compris dans le champ visuel.

Si l'on suppose que l'on transporte parallèlement à elle-même une des rétines sur l'autre, on convient d'appeler *points correspondants* les éléments nerveux qui se trouvent ainsi superposés.

La théorie nativistique suppose que deux points correspondants qui occupent chacun la même place dans chaque œil, sont anatomiquement liés entre eux par les ramifications du système nerveux et que ces deux points situés à deux places différentes de l'organisme ne peuvent transmettre au sensorium qu'une seule et même impression.

Muller pensait que ces deux éléments nerveux aboutissaient à la même cellule de l'encéphale.

La fusion de deux impressions en une seule pouvant cependant s'opérer sans cette condition, on considère cette commune origine comme une chose possible ou probable, sans y attacher une trop grande importance.

Voici maintenant comment cette théorie explique les phénomènes de la vision binoculaire.

Chaque fois qu'un objet est à l'intersection des axes optiques, il excite dans les deux yeux des points corres-

pondants, puisqu'ils sont symétriquement placés par rapport aux axes optiques, donc l'objet sera vu simple.

Si au contraire un objet n'est pas à l'intersection des axes optiques, il affectera dans les deux yeux des points asymétriques et non correspondants, par suite chaque œil percevra une image extériorisée dans une direction différente de l'autre, et le sensorium aura conscience de deux objets.

Le relief ne serait, d'après cette théorie, qu'une impression résultant d'une infinité d'impressions partielles que les yeux éprouveraient en faisant croiser les axes optiques dans les différents points du corps considéré. Tous ces points seraient successivement vus simples et doubles suivant le degré de convergence des axes; l'impression vive de la fusion des images en une seule persisterait, tandis qu'on négligerait la multitude des images doubles qui s'effaceraient les unes les autres, surtout à cause de leur peu de netteté.

C'est ainsi que M. Brücke et M. Prevost de Genève ont expliqué cet important phénomène.

Voici les objections principales que l'on fait à cette théorie.

S'il est vrai que deux points identiques ou correspondants peuvent seuls donner une impression unique, comment se fait-il qu'un corps de formes variées puisse simultanément donner l'idée de l'unité et du relief, car les dessins rétiniens ne sont nullement identiques. Un corps dans l'espace n'est pas vu par les deux yeux de la même manière, ne dessine point sur les deux rétines la même image. Quelle que soit sa position, l'œil gauche voit un peu plus du corps sur la gauche et le droit doit en embrasser un peu plus sur la droite. Ces deux ima-

ges sont donc inégales et asymétriques dans les deux yeux, elles sont ce qu'on nomme des images stéréoscopiques.

La doctrine nativistique ou des points identiques n'est-elle pas en contradiction avec ce fait irrécusable.

M. Giraud-Teulon, après s'être posé cette question, croit y trouver une arme décisive contre cette théorie qu'il considère comme condamnée sans rémission.

M. Helmholtz, s'appuyant sur une argumentation analogue, arrive à des conclusions semblables, sans cependant s'aventurer autant, et considère à la fin de son travail la question comme non résolue d'une manière définitive.

A toutes ces raisons s'en ajoute une autre d'un grand poids, qui compromet tout à fait l'explication de la perception du relief telle que l'ont donnée MM. Prevost et Brücke : elle est tirée des expériences qui furent faites en 1841 par le physicien Dove, ainsi que l'a déjà rappelé M. E. Claparède dans une notice sur ce sujet.

M. Dove réussit, à l'aide du stéréoscope et de l'étincelle électrique, à faire naître l'impression du relief d'une manière très-vive : or la durée de l'étincelle est une fraction si petite de seconde, qu'il est absolument impossible d'admettre que les yeux fassent le moindre mouvement durant un temps aussi court.

Ce résultat ne veut pas dire du tout que le mouvement d'oscillation continuel du degré de convergence des axes ne soit d'un immense secours dans la représentation générale que nous nous faisons du corps considéré, mais il exclut dans le phénomène intime de la perception de la troisième dimension des corps, l'influence du système musculaire; c'est là un fait capital.

Les adversaires de la théorie nativistique mettent également en avant un argument qui n'a pas grande valeur, c'est le fait que, dans les préparations anatomiques du système nerveux de la vue, on n'a pas pu découvrir les éléments histologiques suffisants pour appuyer cette théorie sur des bases d'observation directe.

Il est de fait que, dans l'enchevêtrement des fibres terminales des nerfs, dans ces ganglions qu'on trouve constamment et d'où partent une infinité de radicules nerveuses, il serait plus difficile de déterminer par où les anastomoses sont impossibles que de prouver le contraire. Mais sur ce terrain, des expériences physiologiques guideront plus sûrement que le scalpel et le microscope.

La seule question anatomique qui soit parfaitement constatée et qui plaide en faveur de la théorie nativistique, c'est l'entre-croisement des fibres nerveuses dans le chiasma. Il règne encore de nombreuses divergences sur le mode d'entre-croisement, mais le fait lui-même est reconnu et accepté par tous.

Les cas d'hémiopie sont assez fréquents pour avoir établi la chose d'une manière péremptoire.

Passons maintenant à la théorie empiristique. L'exposé de cette théorie n'est pas chose facile, car on doit faire appel à des phénomènes psychiques un peu abstraits et dont on se rend difficilement compte au premier abord.

La vision simple avec les deux yeux s'expliquerait comme suit :

Supposons un enfant venant au monde parfaitement sain, ses yeux sont tous les deux aptes à voir et normalement conformés, mais on suppose qu'à ce moment il n'y a *aucune espèce de connexion nerveuse préexistante* entre les deux yeux.

La *Fovea centralis* étant la partie la plus sensible de la rétine, l'enfant instinctivement tournera ses yeux de manière que les rayons lumineux émergeants de l'objet qu'il considère, viennent frapper cette région, car il percevra dans ces conditions l'image avec le maximum de netteté. Ce mouvement des yeux se répétant constamment déterminera pour chaque œil l'axe optique; puis pour augmenter encore la netteté des images, il fera converger ses deux axes optiques sur le même objet; la première fois qu'il le fera, verra-t-il double, verra-t-il simple ? on ne sait; mais peu à peu pouvant par le sens du toucher vérifier que ces deux impressions lumineuses distinctes proviennent cependant d'un seul et même objet, il *prendra l'habitude* de voir simple malgré ces deux sensations lumineuses, dès lors la vision simple avec les deux yeux deviendra un phénomène ordinaire pour lui pendant sa vie.

M. Helmholtz expose cette théorie en disant :

« Si nous recherchons la cause de ces faits, nous sommes amenés à nous poser la célèbre question de savoir pourquoi nous voyons simple avec les deux yeux.

« Tant que l'on ne considère les sensations que comme des signes dont l'interprétation ne s'apprend que par l'expérience, la réponse ne présente pas de difficulté particulière.

« Presque tous les objets extérieurs affectent simultanément différentes fibres nerveuses de notre corps, et produisent des sensations composées, dont nous apprenons à considérer l'ensemble comme étant le signe sensuel de l'objet extérieur, et cela sans que nous ayons conscience de la nature complexe de ce signe. »

Quelques lignes plus loin, il formule son hypothèse en disant :

« Il résulte de mes observations, que le contenu de chaque champ visuel arrive à notre conscience sans être lié par une disposition organique à celui de l'autre, et que, par conséquent, la fusion des deux champs visuels, en tant qu'elle se produit, est un acte psychique. »

Ainsi, cette théorie, défendue également par MM. Schleiden et Nagel, tend à exclure entièrement toute connexion organique nerveuse entre les deux yeux, et à donner, comme cause de ces phénomènes, le résultat de l'habitude et la corrélation des sens entre eux.

Une semblable hypothèse est assez spécieuse, car le peu de précision qu'elle présente, le vague dont elle entoure l'origine des habitudes, empêchent de la combattre d'une manière très-directe et sur un terrain parfaitement solide.

Nous allons prouver cependant que si cette théorie est commode pour expliquer une foule de phénomènes, elle est plus qu'incomplète l'orsqu'on aborde l'analyse expérimentale.

En la considérant sous sa forme la plus facile à comprendre, nous voyons cet enfant qui s'habitue à fixer un objet avec ses deux yeux dirigés dans la même direction, mais il cherche aussi à diriger ses bras vers le même objet. et le prend dans ses mains; le sens du toucher se perfectionne en même temps que celui de la vue, et cependant, entre le toucher et la vue il y a une différence essentielle; l'enfant ne fusionnera jamais deux impressions identiques produites dans ses deux mains, tandis qu'il fusionnera deux impressions lumineuses; pourquoi cette différence ?

Mais allons plus loin, et considérons un cas assez fréquent dans les annales pathologiques, c'est celui d'un stra-

bisme congital; il nous fournira un argument sérieux contre cette théorie.

Je suppose que l'enfant qui vient de naître ait deux yeux parfaitement sains et normalement constitués, seulement la prépondérance des muscles internes ou externes limite la course d'un des yeux, ce qui le rend strabique. Cet enfant se développera suivant les mêmes lois que celui qui est parfaitement sain. Il commencera par coordonner les impressions visuelles avec celles que lui donnent le tact et les autres sens; les diverses directions dans lesquelles il doit se transporter, pour aller vers un objet qu'il voit par ses deux yeux, détermineront pour lui la localisation dans l'espace des impressions rétiniennes; les phénomènes d'habitude prendront chez lui la même énergie et la même valeur psychique que chez l'enfant bien conformé, et, dans ce cas, si l'hypothèse empiristique est absolument vraie, à force de rapporter deux impressions lumineuses à un corps que le toucher lui montre être unique, il doit prendre la vue simple binoculaire. Ce cas ne se réalise pas, et si les yeux sont sains, en général le strabique néglige une des images afin d'échapper à la diplopie qui est fort gênante. Ce résultat est donc en opposition avec la théorie qui nous occupe.

Voyons maintenant ce qui se passe quand on opère cet enfant strabique dès sa naissance; lorsque les yeux auront pris leur position normale, il est clair qu'on ne pourra pas s'attendre à rendre de suite la vision simple, car le jugement et le raisonnement ne peuvent pas faire en quelques instants, ce qu'une longue pratique seule est capable de produire.

M. Javal cite plusieurs exemples très-curieux de per-

sonnes strabiques dès la naissance et opérées. Chaque fois que le malade avait les deux yeux sains et que l'opération était bien faite, *immédiatement* après, le strabisme se trouvait remplacé par la vision binoculaire simple. Il cite des noms et décrit les opérations faites par plusieurs célèbres oculistes comme Græfe, Liebreich, etc., qui sont parvenus à des résultats entièrement concordants. Il n'y a qu'une exception à cette règle : ce sont les cas appelés incongruence de rétines, cas que nous examinerons à la fin de cette notice.

Enfin, nous donnerons encore deux arguments qui tendent à faire rejeter cette théorie.

Le premier est tiré de considérations d'anatomie comparée. Si l'on examine les différents groupes des animaux vertébrés et les séries qu'ils présentent dans leur organisation par rapport aux organes visuels, on voit qu'à mesure que les yeux prennent une position plus latérale, le chiasma ou connexion des deux nerfs optiques perd de son importance théoriquement et de fait, l'observation montre que l'entre-croisement des fibres nerveuses est d'autant moins complet que les yeux sont plus opposés. Chez certains vertébrés, le chiasma a même complétement disparu, et les deux nerfs ne sont plus soudés que par un tissu conjonctif ou fibreux sans aucune importance physiologique.

Les deux yeux sont alors totalement opposés quant à leur orientation, il y a impossibilité matérielle de fusion d'images, il n'y a plus de chiasma.

Or la théorie empiristique nie entièrement que la disposition nerveuse de l'appareil visuel soit la cause de la fusion d'images doubles en une seule binoculaire, comment donc expliquera-t-elle cette modification importante de

l'organisme chez les êtres doués de vision simple, si réellement la structure anatomique était sans influence.

Le chiasma, dans la théorie empiristique, est tout à fait superflu.

Le dernier argument que nous opposerons à cette théorie est déduit d'expériences personnelles, sur les conditions nécessaires à la perception du relief.

Si l'on fixe deux écrans à un manche, de manière qu'ils soient dans un même plan, et que les deux bords des deux écrans soient séparés par une fente de 5 à 6 millimètres, il sera possible, par cet appareil, de déterminer une condition importante pour qu'on puisse percevoir le relief.

Supposons qu'on regarde un objet placé près de soi, et qu'on interpose le plan des deux écrans tenus par le manche commun, de manière à ce que la fente permette à un seul œil de voir l'objet, il est clair que dans ces conditions la sensation de relief disparaît, et qu'on voit l'objet par la vision monoculaire simple. On peut transporter la fente un peu à gauche ou un peu à droite, de manière que ce soit l'autre œil qui soit mis en communication directe avec l'objet, puis un mouvement périodique d'oscillation fera successivement naître, alternativement dans chaque œil, une impression lumineuse monoculaire.

Tant que le mouvement des écrans est lent, et que les impressions lumineuses dans chaque œil se succèdent à des intervalles notables, il est impossible de percevoir aucune différence entre les images rétiniennes qui pourtant, ainsi que nous l'avons vu, sont asymétriques et stéréoscopiques.

Si l'on accélère le mouvement d'oscillation du petit

appareil, et que le temps qui sépare deux impressions lumineuses perçues dans les deux yeux devienne *moins qu'un neuvième de seconde*, aussitôt l'impression du relief naît avec sa vivacité caractéristique : or on sait que la durée d'une impression lumineuse est d'environ un neuvième de seconde.

La conclusion de cette expérience est celle-ci : pour que la sensation du relief soit perçue, *il faut que l'impression lumineuse existe simultanément sur les deux rétines.*

Ce résultat montre qu'il y a un rapport intime entre la structure anatomique des nerfs optiques et le phénomène du relief, car si la théorie empiristique expliquait réellement les faits considérés, le relief devrait être perçu lorsque dans chaque œil serait venue se peindre une image stéréoscopique, même à supposer qu'il se fût écoulé un certain temps entre les deux impressions lumineuses, un quart de seconde, par exemple.

Comment croire que la mémoire des sensations de l'appareil de la vue serait si fugace, qu'à une fraction de seconde près l'impression disparaîtrait et le relief ne pourrait pas être perçu.

Ces dernières considérations sont propres à montrer d'une manière évidente que, si dans l'interprétation des sensations la théorie empiristique est applicable jusque dans ses dernières limites, il est impossible de la maintenir pour l'explication des phénomènes de sensation eux-mêmes, lesquels dépendent en première ligne de la structure anatomique.

Nous venons d'exposer aussi rapidement que possible les deux principales théories, les faits qui militent en leur faveur et les objections qu'on leur a opposées.

La question est donc loin d'être élucidée, car aucune de

ces hypothèses scientifiques n'a reçu la sanction indispensable d'une synthèse complète, entièrement vérifiée par les faits observés.

Le but que nous nous proposons dans les chapitres suivants est de décrire la méthode synthétique que nous avons suivie pour démontrer par de nombreuses expériences la liaison nerveuse qui existe anatomiquement entre les points correspondants.

Nous partirons de lois connues de physiologie, et nous emploierons une disposition spéciale qui nous servira de critère dans l'étude qui nous occupe.

II

Établissons d'abord la loi fondamentale qui préside à la transmission des impressions et des sensations et par là nous permet d'entrer en rapport avec le monde extérieur.

Je suppose que je prenne un corps chaud dans la main, aussitôt les papilles nerveuses qui tapissent la surface de la peau, ébranlées par ce corps, transmettent leurs vibrations au tronc nerveux dont elles ne sont que l'épanouissement, et le nerf lui-même, laissant à chaque fibre nerveuse élémentaire l'excitation qui lui est propre, apporte au sensorium l'impression de chaleur ; mais bien que l'*impression* soit produite dans l'encéphale (ce qui est démontré), la *sensation* ne s'y localise pas, elle est reportée d'une manière immédiate à l'autre extrémité des fibres nerveuses qui amènent l'impression.

Cette loi qui est vraie pour le sens du toucher s'applique également aux autres sens, nous reportons toujours et dans tous les cas la sensation à l'extrémité périphérique du nerf excité.

Il n'est pas nécessaire pour cela que la cause de l'irritation du nerf ait son siége d'action à l'extrémité de ce nerf, elle peut agir tout le long du tronc nerveux, la sensation n'en sera pas moins reportée à cette extrémité, lors même qu'aucune excitation n'y est produite.

Des expériences faciles à reproduire sur soi-même démontrent clairement que si l'irritation d'un tronc nerveux de mouvement fait contracter tous les muscles qui en reçoivent les filets, celle d'un nerf de sentiment provoque des sensations douloureuses dans tous les points où il se ramifie.

Comprimez fortement le nerf cubital dans son passage entre l'épitrochlée et l'olécrane, et vous éprouverez un picotement douloureux en dedans de la paume et du dos de la main où vient se distribuer le nerf cubital.

Dans les amputations on remarque souvent que les douleurs les plus vives ne se font pas sentir à l'endroit même où passe le couteau, mais dans les membres qui vont être séparés du corps.

Un coup un peu violent sur l'œil fait *voir les étoiles,* une compression seulement donne naissance aux phosphènes si bien étudiées par M. Serre d'Uzes, qui n'a pas craint, dans un but scientifique, de s' infliger de vraies tortures.

Toutes ces expériences, et une foule d'autres qu'il serait trop long de rappeler ici, démontrent la vérité de cette loi fondamentale :

Une impression arrivant au sensorium, la sensation est reportée invariablement à l'extrémité la plus éloignée du centre nerveux du ou des nerfs qui apportent l'impression.

Une remarque essentielle s'applique à tous les phéno-

mènes de sensation, c'est que les facultés mentales, l'intelligence et le raisonnement, ne peuvent en aucune manière apporter des modifications dans la localisation et la durée des impressions sensorielles.

Nous voulons dire par là que si un organe est lésé il est absolument impossible, par la volonté, de transporter la sensation douloureuse que nous éprouvons dans un autre organe.

L'habitude ne joue aussi qu'un rôle secondaire dans la nature intime des sensations perçues par le sensorium, elle sert uniquement à faciliter la rapidité et surtout l'exactitude avec lesquelles nous portons des jugements sur les corps qui nous entourent et nous modifient.

Il va sans dire que, lorsqu'on parle d'habitude, on sous-entend toujours un phénomène primordial dont la cause n'était pas l'habitude puisqu'elle n'a pris naissance que par la réitération de ce phénomène.

Afin de rapprocher les faits généraux que nous venons de rappeler du point spécial qui nous intéresse, nous allons employer une position spéciale d'expérience :

Nous supposons qu'un œil seul voie un objet et que l'on interpose un écran opaque entre l'objet et l'autre œil de manière à en cacher la vue.

Nous analyserons *à priori* la sensation qui doit être perçue si la théorie nativistique est vraie, puis en faisant les expériences directes, nous comparerons les données théoriques aux résultats obtenus ; telle doit être la marche de la méthode scientifique.

Établissons les prémices du raisonnement.

1° Puisque nous supposons la doctrine des points identiques vraie, nous admettrons que deux points corres-

pondants sont liés anatomiquement par le système nerveux et que les deux fibres élémentaires qui en proviennent fusionnent leurs impressions en une seule.

2° Nous avons la loi générale qui constate le report des sensations à la périphérie du système nerveux et que nous avons définie en disant : Toute impression arrivant au sensorium, la sensation est reportée invariablement à l'extrémité la plus éloignée du centre nerveux *du* ou *des* nerfs qui apportent l'impression.

Que doit-on donc ressentir lorsqu'en fixant le regard sur un objet, on permet seulement à l'œil gauche, par exemple, de le voir tandis qu'un écran est placé entre l'œil droit et ce même objet ? Ceci :

L'impression lumineuse arrive par l'œil gauche et dessine sur la rétine l'image de l'objet considéré, elle irrite les fibres nerveuses du nerf optique, et le sensorium en a la perception ; mais où reporterons-nous la sensation ? A l'extrémité périphérique *du* ou *des* nerfs qui apportent l'impression. Or la doctrine des points identiques nous dit que deux impressions provenant de deux points correspondants se fusionnent en une seule, donc, dans le cas particulier où nous nous trouvons, si cette doctrine est vraie, la sensation provenant de l'œil gauche sera reportée d'une manière forcée et obligatoire, non-seulement à l'œil gauche mais aussi à l'œil droit.

Nous pouvons parfaitement assimiler ce cas à ceux dont nous avons parlé précédemment.

On se heurte le coude et la douleur est perçue dans la main.

Supposons qu'on pût, dans l'intérieur de l'encéphale, irriter la racine rachidienne d'un nerf quelconque, la sensation, comme nous l'avons vu, se ressentira toujours à

l'autre extrémité. C'est ce qui arrive dans la position que nous avons choisie à dessein dans ce but ; on irrite dans le sensorium la racine des fibres optiques, et la sensation doit se ressentir à l'extrémité de ces mêmes fibres qui amènent l'impression, c'est-à-dire aux deux yeux, puisque nous raisonnons en supposant vraie la doctrine des points identiques.

L'habitude ne pourra jouer aucun rôle dans ces phénomènes s'ils se présentent en réalité, car le report des sensations est démontré intimement lié avec la structure anatomique préexistant par rapport à la sensation.

Présentons ce raisonnement d'une autre manière :

Si nous supposons une sensation unique résultant de la fusion de deux impressions reçues par deux éléments nerveux, réciproquement étant donnée cette sensation unique, nous la reporterons à l'extrémité des deux éléments nerveux considérés.

Nous ne faisons appel qu'aux lois générales de physiologie que trop de faits prouvent pour qu'on puisse les révoquer en doute.

Chaque point irrité par l'image de l'objet dans l'œil gauche suscitera par conséquent une sensation identique dans le point correspondant de l'œil droit.

Ces sensations provenant de la structure de l'appareil optique produisent une modification telle dans l'encéphale que l'acte psychique, qui en dérive, doit avoir la même énergie que si cette vision illusoire par l'œil droit avait physiquement lieu.

Comme dans tout ce qui suivra nous aurons constamment l'occasion de parler de ces impressions tout subjectives, nous convenons dès maintenant de les appeler : *images d'illusion.*

Nous disons donc qu'un objet, visible pour l'œil gauche et invisible pour l'œil droit, doit former une image réelle sur la rétine gauche et une image d'illusion dans l'œil droit.

Cette image d'illusion n'a au point de vue physique aucun des caractères de l'image réelle, elle ne provoque aucune vibration sur la rétine droite, mais elle est perçue par le sensorium avec autant de netteté que si elle existait réellement, elle est en tous points comparable à la sensation que nous éprouvons dans la main en nous froissant le coude, ou même aux douleurs que certains amputés ressentent dans le membre qu'ils n'ont plus.

Il est très-important d'appuyer sur ce fait que ces images d'illusion sont purement subjectives, sans quoi l'on commettrait de graves erreurs.

Déterminons maintenant, toujours *a priori*, l'apparence que devront revêtir ces images d'illusion et leur influence sur l'écran.

L'œil gauche étant fixé sur l'objet, l'image, umineuse qui se peint sur la rétine nous renseignera d'une manière assez précise, quoique incomplète, sur la distance à laquelle il se trouve de nous, sur ses formes générales, sa couleur, etc., etc. Toutes ces sensations seront attribuées également à l'image d'illusion de l'œil droit, de là doit naître forcément l'illusion de la *transparence de l'écran* interceptant pour l'œil droit la vision directe de l'objet.

En effet, le caractère d'un écran opaque est d'intercepter la vue des objets qui sont placés derrière lui; dès que cette propriété disparaît, l'écran est dit transparent.

Mais nous reportons dans l'œil droit une sensation telle qu'il nous semble voir l'objet caché par l'écran,

c'est précisément en cela que consiste l'illusion, donc l'écran perdra l'apparence d'opacité.

Tous les corps qui avoisinent l'objet considéré et qui sont compris dans le champ visuel de l'œil gauche, devront pour les mêmes raisons produire des images d'illusion dans l'œil droit, ce qui fait que l'écran ne paraîtra pas transparent uniquement dans la partie sur laquelle se détache l'image de l'objet qui attire l'attention, mais dans toute son étendue sur une bande verticale du côté gauche.

Nous verrons plus loin les limites géométriques que l'on doit assigner à cette transparence illusoire.

Supposons que l'on prenne un crayon de la main droite, et qu'on promène la pointe sur l'écran qui intercepte les rayons lumineux pour l'œil droit, il arrivera un moment où cette pointe semblera passer sur le contour des objets vus par transparence illusoire ; en suivant ces contours on pourra donc dessiner l'objet tel qu'il apparaît. Si pendant l'exécution graphique les axes passent par différents degrés de convergence, la projection de l'image d'illusion participera à la déviation des axes optiques, et on la verra se mouvoir de droite à gauche, ou de gauche à droite.

Le contour tracé sera l'intersection de l'écran et d'un cône dont les génératrices sont assujetties à passer par le centre optique de l'œil droit et par les points correspondants de ceux qui sont directement excités dans l'œil gauche par l'image physique.

Les lois de la perspective doivent également s'appliquer au tracé de cette image d'illusion. Ainsi la surface de l'écran comprise dans le contour sera proportionnelle au carré de la distance qui sépare l'écran du centre optique.

Mais nous ne nous étendrons pas trop dans des considérations *a priori* et nous vérifierons dès maintenant par l'expérience celles que nous venons d'exposer.

III

Voici de quelle manière nous avons procédé pour vérifier expérimentalement les conclusions théoriques qui découlent de l'hypothèse d'un lien anatomique entre les points identiques :

On regarde fixement un point situé à quelque distance, un clocher, un arbre, voire même, si l'on veut, un objet situé au fond de la chambre, puis on met entre les yeux un écran, de telle sorte que sa tranche s'applique sur le front et le nez, et que son plan vertical et parallèle, à la direction des axes optiques, n'empêche aucun œil de voir l'objet considéré (Pl. II, fig. I).

A ce moment, tout en tenant les deux yeux ouverts, on approche un second écran du premier, de manière que leurs deux plans soient perpendiculaires, et leur ligne d'intersection verticale.

Quand ce second écran est venu toucher le premier, tout rapport direct entre l'œil droit et l'objet a cessé (si l'on interpose le second écran par la droite comme dans la figure), malgré cela, on n'en continue pas moins de voir et de distinguer l'objet ou le point miré à travers l'écran interposé, comme à travers un corps excessivement diaphane et transparent.

Il est vrai qu'aussitôt la sensation du relief disparaît, et que nous ne jugeons des formes générales que par les indications moins précises de la vision monoculaire.

Si l'on promène le doigt sur cet écran, on le voit passer sur tout le paysage que l'autre œil seul peut voir,

et il est aisé de tracer au crayon les contours qui apparaissent d'une manière très-nette.

Si l'on ferme l'œil gauche placé de l'autre côté de l'écran, et qui reçoit l'impression directe de la lumière, l'image d'illusion disparaît immédiatement et l'on ne voit plus que le contour tracé par le crayon sur l'écran : si on le rouvre, le phénomène se reproduit et l'on voit le dessin reparaître comme cadre du paysage.

L'écran qui est interposé devant l'œil droit ne paraît pas transparent dans sa totalité, mais seulement dans une bande du côté gauche ; la largeur de cette bande varie suivant les diverses positions que peuvent prendre les axes optiques et leur degré de convergence. Une épure de géométrie facile à établir, limite exactement la zone vue transparente par illusion ; nous en donnerons un exemple plus loin.

Il y a une manière plus commode de procéder à ces expériences, et la nouvelle disposition que nous allons employer nous permettra de faire usage de plusieurs moyens d'analyse qu'il importe de ne pas négliger.

On place sur une table une feuille de papier blanc, et l'on pose dessus une petite pièce de monnaie, ou un objet quelconque, ainsi que le représente la figure 11, pl. II.

Comme dans l'expérience précédente, on maintient entre les deux yeux un écran, de manière qu'un seul des yeux puisse apercevoir le corps placé sur le papier, ce qui s'obtient facilement en plaçant le bord inférieur de l'écran juste à côté de la pièce de monnaie.

Il convient, dans cette expérience, de tenir cet écran vertical, car cela permet à l'observateur d'avoir ses deux mains libres.

Lorsqu'on examine ce qu'on éprouve en dirigeant le

regard sur la pièce de monnaie, ont voit que l'écran vertical paraît transparent dans sa totalité, et qu'il permet à l'œil droit de distinguer la pièce comme à travers une surface des plus diaphanes, ressemblant à un léger voile.

Si alors, tout en maintenant les deux yeux ouverts, on donne aux axes optiques une direction plus parallèle, c'est-à-dire celle qu'ils prendraient naturellement si la pièce s'éloignait de l'observateur en s'enfonçant sous la table, on voit l'image d'illusion de l'œil droit s'acheminer graduellement vers la droite, traverser la ligne d'intersection de l'écran et de la table, et venir se projeter de l'autre côté sur le papier blanc, où l'on peut en faire un tracé très-correct, en ayant soin, par un effort de volonté, d'empêcher tout mouvement des axes optiques une fois l'opération graphique commencée.

En effet, cette image d'illusion change constamment de place avec la direction des axes optiques; il faut de l'exercice, et souvent de grands efforts, pour devenir maître des mouvements musculaires des yeux, encore ne le devient-on jamais que dans une certaine mesure.

Les limites de mouvement de l'image d'illusion perçue par l'œil droit, sont à gauche le point le plus extrême que l'on puisse distinguer sans changer la position de la tête, tandis qu'à droite, lorsque l'image d'illusion se projettera à une distance de la pièce de monnaie égale à la distance des deux centres optiques des yeux, on ne pourra guère la faire marcher plus à droite et outrepasser cette distance. Cela demande, pour être possible, que les axes optiques prolongés se coupent derrière la tête; cette position tout à fait anormale exige, pour être obtenue, des contractions douloureuses.

Quant au chemin parcouru par l'image d'illusion, entre

ces deux limites extrêmes, il est l'intersection du plan de la table et du plan des axes optiques, lequel contient le point de mire, c'est-à-dire la pièce de monnaie.

Il est évident que, si la tête de l'observateur est fixe, cette image d'illusion se transportera suivant une ligne droite, ce dont il est facile de se convaincre, en faisant suivre par un trait, les différentes positions successives qu'elle occupe.

Pour parvenir à tracer commodément cette image d'illusion, il faut arriver à fixer invariablement la direction des axes optiques, car, sans cela, les oscillations constantes dont nous venons de parler rendraient le tracé presque impossible.

Une position avantageuse, pour remplir ce but, est de choisir la position d'extrême droite ; en effet, c'est celle qui écarte le plus l'image d'illusion de l'image réelle, et qu'on peut le plus facilement conserver ou retrouver si l'on s'en est écarté.

Du reste, chaque expérimentateur doit chercher les positions qui lui conviennent le mieux et employer, si possible, des moyens auxiliaires, comme dans la figure I, où l'on utilise le parallélisme naturel des axes optiques, quand on regarde un point éloigné.

On peut également, dans la seconde expérience, remplacer la table par une plaque de verre tenue horizontalement à une certaine hauteur au-dessus du sol ; on fixe le regard sur un point du plancher, mais on attire l'attention sur la pièce de monnaie placée sur la plaque. La direction des axes optiques est alors facile à conserver.

Nous pouvons donner une preuve complète de la *subjectivité* de ces images d'illusion par l'emploi de verres grossissants et de lentilles concaves.

Nous tirerons d'abord *a priori* les résultats que l'expérience devra confirmer.

Je suppose que, dans l'expérience représentée dans la figure II, j'intercale, entre l'œil droit et le papier, une lentille convexe non achromatisée : en quoi modifiera-t-elle le contour tracé sur le papier ?

Puisque les conditions de la formation de l'image réelle dans l'œil gauche n'ont pas changé, l'impression lumineuse produite sur la rétine gauche sera semblable dans les deux cas, et puisque l'image d'illusion est identique à celle que l'on perçoit directement, il en résulte qu'on devra la projeter par l'œil droit, comme si la lentille n'existait pas. Voilà quelles seront les sensations visuelles extériorisées par les deux yeux.

Mais, si nous essayons de tracer le contour de cette image d'illusion, l'action dioptrique et colorante de la lentille va se faire sentir. En effet, par l'œil droit on distingue la pointe du crayon sur le papier, grossie par l'effet de la lentille irisée ; par ce même organe, on projette l'image d'illusion. *Il faudra donc que le contour tracé par le crayon soit d'autant de fois plus petit que la lentille grossit plus, puisque, amplifié par cette lentille, il doit venir se peindre sur les points de la rétine droite, correspondant à ceux qu'excite l'image réelle de l'œil gauche.*

Si la lentille grossit deux fois en diamètre, le diamètre du dessin tracé sera moitié de celui de la pièce.

A mesure que le crayon tracera le contour, la marque du crayon s'irisera, ce qui fait qu'à la fin de l'opération l'image d'illusion paraîtra irisée dans tous ses contours.

Telles sont les conclusions théoriques que l'expérience vient en tous points confirmer.

Pour cela mettons-nous dans les conditions qu'elle réclame.

Prenons une lentille convexe que l'on tient de la main droite, en la maintenant entre l'œil droit et le papier, de telle sorte que son foyer conjugué se trouve placé sur le plan de la table et permette une vision claire et distincte du dessin qui va s'y tracer. L'autre œil, comme dans la précédente expérience, est ouvert et voit la petite pièce de monnaie placée à gauche de l'écran.

A ce moment, si l'on examine attentivement l'impression visuelle, on reconnaît que dans les sensations perçues il n'existe aucune différence, qu'il y ait ou non la lentille.

La première partie des déductions théoriques se trouve ainsi démontrée.

Mais traçons le contour de cette image d'illusion, la pointe du crayon apparaissant au foyer, sera vue distinctement et irisée; pendant qu'elle suit le contour de la projection de l'image d'illusion, la trace qu'elle laisse se colore et l'on peut à la fin du tracé vérifier les deux autres prévisions théoriques :

Que le contour tracé est d'autant plus petit que la lentille grossit davantage, et que :

L'image d'illusion paraît irisée, encadrée qu'elle est par le dessin du crayon.

Changeons maintenant la lentille convexe contre une lentille concave, et refaisons l'expérience.

Il est évident dans ce cas que le contour tracé devra être alors d'autant de fois plus grand que la lentille diminue davantage, car l'action de cette lentille sur le dessin sera de le diminuer, mais il devra malgré cela venir encore affecter les mêmes points de la rétine droite qu'avant l'interposition de cette lentille.

L'expérience refaite dans les mêmes conditions que précédemment confirme ces conclusions.

On peut ainsi résoudre un problème de physique assez intéressant, c'est de grossir un dessin 16 fois en surface au moyen de deux lentilles, l'une grossissant deux fois, l'autre diminuant deux fois.

Pour cela, mettons (fig. 11) la lentille grossissante entre l'œil gauche et l'objet, puis la lentille divergente entre l'œil droit et le papier. L'image perçue par l'œil gauche sera celle de l'objet grossie deux fois en diamètre, mais l'action de la deuxième lentille fera que le dessin tracé, diminué deux fois en diamètre, donnera dans l'œil droit une image égale à celle qui pénètre dans l'œil gauche.

Ainsi le contour tracé sera grossi deux fois par la première lentille, puis deux fois encore par la seconde et sera de cette manière 16 fois plus grand en surface.

Pour bien réussir dans cette expérience, on doit s'habituer à employer des lentilles de plus en plus fortes, car il est difficile de se servir d'emblée de lentilles à court foyer.

Si l'on inverse entre elles les deux lentilles, le résultat sera inverse et l'on aura un contour 4 fois plus petit en diamètre.

L'emploi du stéréoscope de Brewster est d'un grand secours pour le tracé des images d'illusion : la forme prismatique des verres écarte notablement les axes optiques qui peuvent même diverger, tandis que leur convexité détermine un foyer vu avec beaucoup de netteté. Pour s'en servir, on met sous un des verres le dessin à copier et sous l'autre le papier blanc : l'image d'illusion se projette avec une telle intensité qu'il est absolument

impossible de dire quel est l'œil qui perçoit l'image réelle.

Pour obtenir des agrandissements, on peut employer les lois de la perspective en éloignant plus ou moins le plan sur lequel se projette l'image d'illusion.

Nous nous sommes servis dans ces expériences d'une pièce de 1 franc du diamètre de 23 millimètres.

En maintenant la pièce à 20 centimètres de l'œil gauche, nous avons projeté l'image d'illusion de l'œil droit sur un plan qui était successivement à des distances de 10, 20, 30, 40, 50 centimètres de l'œil droit. Les contours obtenus, en dessinant ces images d'illusion, eurent lse diamètres suivants : 11^{mm},3, 23^{mm}, 34^{mm},7, 46^{mm},4, 58^{mm},1.

Quand l'image d'illusion se projetait à des distances de 30, 40 et 50 centimètres, l'image de gauche devint légèrement indistincte, parce qu'involontairement j'accommodais mes deux yeux à la distance à laquelle je voyais le crayon.

Je me suis efforcé de conserver nette l'image de gauche en portant sur la pièce mon attention ; ce fut alors le crayon qui devint légèrement indistinct ; les contours qu'il traça eurent pour diamètres successifs : 11^{mm},7, 23^{mm}, 34^{mm},3, 45^{mm},6 et 56^{mm},8.

La différence de ces chiffres dans les deux séries s'explique facilement ; lorsque je m'appliquais à discerner nettement le crayon, le cristallin de l'œil droit jouait, par rapport à l'image d'illusion, le rôle d'une lentille très-faiblement divergente, ce qui entraîne un léger grossissement; dans le secondcas c'est l'inverse qui a lieu, l'accommodation se fait pour une distance de 20 centimètres, par conséquent le cristallin de l'œil droit fait office d'une lentille légèrement grossissante, ce qui diminue le diamètre du contour tracé.

Nous avons par là vérifié expérimentalement toutes les conclusions théoriques auxquelles nous étions parvenus en nous basant sur la doctrine des points identiques.

Nous devrions continuer ainsi jusqu'au bout et faire découler, toujours *a priori*, tous les phénomènes de la vision binoculaire, afin de donner une synthèse complète à notre hypothèse. Malheureusement, cette marche rencontrerait de grandes difficultés, car, coordonner entre elles les sensations si variées et si nombreuses que nous fournit l'organe de la vue, avec celles non moins complexes des autres sens, est une tâche au-dessus de nos forces et qui ne présenterait pas dans son développement de garanties suffisantes.

Nous reprendrons donc la méthode analytique, et nous nous contenterons de montrer l'accord qui existe entre les phénomènes observés et notre hypothèse. Dans les cas possibles, nous aurons recours au raisonnement de déduction plus précis et plus concluant.

IV

Il nous faut reprendre les différents phénomènes de la vision binoculaire et voir comment ils trouvent une explication logique par la théorie des points identiques.

1° *Formation des images doubles, et leur transparence illusoire suivant le degré de convergence des axes optiques.*

Considérons successivement les deux cas possibles : l'objet sur lequel on dirige l'attention est plus près de l'observateur que le point de rencontre des axes optiques, et dans le second cas il est plus loin.

La figure III (Pl. III) nous servira dans les deux cas.

Les axes optiques se coupent en b et l'on porte son

attention sur le point radieux k, que nous supposons être d'un certain diamètre.

Si, tout en conservant les axes optiques dans la même direction on ferme l'œil gauche, par exemple, le corps k empêchera de distinguer tous les objets du champ visuel de l'œil droit, contenus dans le cône $C'\,kk'$: le corps k se projettera dans la direction $C'\,k$.

Or pour l'œil droit le point k est dit à gauche de b, lieu d'intersection des axes optiques, puisque l'angle α est compté de droite à gauche à partir de la direction de l'axe optique $C'\,b$.

Cette disposition, parfaitement la même pour les deux yeux, explique l'alternance des images par rapport aux yeux dans ce cas et le fait qu'en fermant l'œil gauche, c'est l'image de gauche qui persiste.

Changeons maintenant les données de l'expérience en considérant le point a situé plus loin de l'observateur que b, lieu d'entre-croisement des axes optiques.

Il faut bien préciser, pour éviter tout équivoque, ce que nous appellerons image de gauche et image de droite.

Pour l'œil droit, tout corps situé à droite d'un plan vertical passant par $C'\,bb''$ formera une image que nous verrons à droite du point b et que nous nommerons image de droite.

Pour l'œil gauche tout point situé à gauche d'un plan vertical passant par $C\,bb'$ formera une image dite image de gauche. Ces prémices sont importantes à établir, car elles nous donneront la clef d'une illusion curieuse et dont on ne peut se rendre compte que par l'expérience.

Le corps a cachera pour l'œil droit tous les objets situés dans le cône $C'\,aa'$, qui fait un angle γ compté de

gauche à droite avec l'axe optique $C' bb''$; sa projection sur le champ visuel formera donc une image de droite.

L'image du corps *a* dans l'œil gauche se projettera par cet organe dans la direction $C\ aa''$ qui fait un angle θ compté de droite à gauche à partir de l'axe optique $C\ bb'$, ce sera donc une image de gauche.

Dans ce cas, par conséquent, les images sont homologues par rapport aux yeux ; mais ce qu'il y a de curieux dans ce phénomène c'est que tous les objets du champ visuel sur lesquels se projette le cône $C' aa'$, image de droite, sont physiquement plus à gauche que ceux sur lesquels se détache la projection de $C\ aa''$, image de gauche.

On peut facilement s'en convaincre en arrêtant les regards par une paroi, et en conduisant le doigt de l'extrémité gauche à l'extrémité droite, le doigt commence par passer sur l'image de droite, ainsi que le prouve la fig. III.

2° *Passons maintenant à l'explication de la transparence des images doubles.*

Elle se tire aisément de toutes les expériences que nous avons décrites dans le chapitre précédent.

En effet la transparence des images doubles ne se remarque que lorsque les deux yeux sont ouverts ; par rapport à l'œil droit l'objet considéré cache une partie du champ visuel vue par l'œil gauche ; l'œil droit reportera donc dans la même direction une image d'illusion qui donnera à l'objet l'apparence d'une transparence parfaite. C'est à peu de chose près notre première expérience représentée dans la figure I.

L'œil droit, de son côté voit une portion du champ visuel qui formera une image d'illusion reportée par l'œil gauche sur l'objet interposé, de telle sorte que pour les

deux yeux les deux images seront vues transparentes.

Pour s'en rendre compte expérimentalement, on n'a qu'à regarder un point contre le panneau de la chambre et mettre l'index devant les yeux à 10 ou 15 centimètres de la figure : les deux images sont très-distinctes et leur transparence évidente.

Avant de passer à l'explication des autres phénomènes de la vision binoculaire, nous exposerons la loi qui limite la transparence illusoire dans le cas le plus ordinaire où les axes optiques se coupent au delà de l'objet considéré.

1° *Toutes les fois qu'un objet est vu double et que les deux images perçues n'ont aucun point commun, les deux images ont en totalité l'apparence d'une transparence parfaite.*

2° *Si au contraire les deux contours se rencontrent et pénètrent l'un dans l'autre (ce qui est toujours le cas pour des objets un peu larges) tous les points communs aux deux images deviennent opaques, laissant transparentes les parties non communes.*

La première loi trouve sa vérification dans l'expérience que nous venons de citer, où tout en regardant un point au fond de la chambre on place près des yeux l'index de manière à faire naître deux images transparentes.

Il y a cependant dans le champ visuel tout une partie absolument invisible, c'est celle qui se trouve immédiatement derrière le doigt et qui n'envoie aucun rayon lumineux dans les yeux vu sa position : *malgré cela le sensorium n'a aucune conscience de cette lacune présentée dans le champ visuel,* de cet espace, capable de contenir des corps lumineux, et qui pourtant n'exerce aucune influence sur le système nerveux.

En effet, comme on reportera dans toutes les directions possibles des impressions visuelles, soit réelles, soit d'illusion, tout le système nerveux optique paraîtra en action, et en vertu de l'extériorité de nos sensations, nous remplirons tout le champ du regard. Ainsi, malgré l'interposition du doigt, tout l'espace compris entre les yeux et le fond de la chambre paraîtra vu en entier.

Ce phénomène a une haute importance physiologique, il démontre de la manière la plus évidente cette proposition trop longtemps discutée, c'est que toutes nos notions, toutes nos idées sur le monde extérieur proviennent exclusivement des modifications physiques et chimiques qui s'opèrent dans la profondeur de nos organes sensoriels, sous l'influence de l'action mécanique des corps avec lesquels nous sommes en contact. La vue comme les autres sens, nous modifie, fait éprouver aux éléments cérébraux des mouvements difficiles à caractériser, mais dont l'existence nous est démontrée. Si par une cause quelconque mais interne, une modification semblable se produit dans notre cerveau, aussitôt nous *voyons* réellement, avec la même certitude que si les sensations lumineuses provenaient du dehors. Les hallucinations de gens malades, le délire, les rêves et tous les phénomènes de transparence illusoire de la vision binoculaire s'accordent pour démontrer cette loi capitale.

Passons maintenant au cas où la transparence des images doubles est limitée.

Nous ne pouvons pas donner la discussion complète du problème au point de vue mathématique car ce n'est ici qu'un court résumé, aussi nous nous bornerons à prendre un exemple et à indiquer la marche à suivre.

Voici les conditions dans lesquelles nous faisons l'ex-

périence (Pl. III, fig. IV). Nous supposons les deux axes optiques AX, AY parallèles. Le regard est limité par le plan vertical P.

Nous introduisons devant les deux yeux deux écrans MN et RQ que nous choisissons tels que MN soit un peu plus large que AB (distance des centres optiques) et RQ un peu plus petit, afin de considérer simultanément les deux cas.

Menons par A les quatre rayons lumineux AMG, ANH, ARE, AQF, puis par B les quatre rayons correspondants, c'est-à-dire ceux qui passent par le centre optique B et les points identiques correspondants à ceux qui sont impressionnés dans l'œil gauche, soient : BG′, BH′, BE′ et BF′. Traçons maintenant les rayons BMC, BND, BRI, BQK qui pénètrent dans l'œil droit : figurons également les rayons correspondants de l'œil gauche : AC′, AD′, AI′ et AK′.

Cette construction nous permettra de limiter sur les deux écrans la portion qui paraîtra transparente.

L'œil droit voit le plan P à droite de BK dans toute l'étendue du champ visuel à partir de cette limite : l'œil gauche, par conséquent, reportera une image d'illusion provenant du plan P à droite de AK′, il en résulte que pour l'œil gauche l'écran RQ paraîtra transparent en entier.

L'œil gauche voit tout le plan P à gauche de AMG, le droit entériorisera de même une image d'illusion sur la partie de l'écran MN comprise entre M et δ, car δ est le point où le rayon correspondant BG′ vient percer l'écran MN.

Ainsi que le montre la figure, sur l'écran MN les portions Mα et Nδ vont affecter dans les deux yeux des

points correspondants (α étant le point de rencontre du rayon correspondant AD′ avec l'écran).

Il en résulte que les deux yeux étant affectés dans cette direction d'impressions pareilles, provenant du corps interposé devant le plan P, fusionneront ces impressions en une seule, ce qui donnera naissance à la vision simple binoculaire et supprimera l'illusion de transparence.

Wheatstone par ses expériences a montré que ces deux impressions fusionnées en une seule donnaient la sensation d'un seul objet reporté à l'intersection des axes optiques ; dans le cas qui nous occupe, l'écran M N paraîtra opaque sur une très-petite portion, d'une largeur égale à $N\delta = M\alpha$ que l'on verra dans une direction intermédiaire, soit celle d'un point situé à l'horizon.

Dans une direction différente du champ visuel, on aperçoit une autre image opaque qui est formée de la superposition d'impressions lumineuses provenant l'une de l'écran M N et l'autre de l'écran R Q. Cette image sera évidemment opaque puisque le plan P n'est plus visible, et que les points correspondants des yeux sont affectés de sensations semblables. Cette image opaque, qui, dans la figure, soustend un angle égal à $RBQ = \beta A \lambda$, sera reportée comme la précédente dans une position intermédiaire par rapport aux deux parties des écrans qui lui donnent naissance ; elle semblera jaillir entre ces deux écrans et maintenue en l'air sans soutien apparent : à gauche et à droite on voit en effet des zones transparentes.

On se rend très-aisément compte de cette illusion en regardant un objet à une certaine distance, puis en mettant les deux mains à la hauteur des axes optiques de manière que le plan des mains coïncide avec le plan des axes. Si l'on rapproche peu à peu les deux mains l'une

vers l'autre par un mouvement symétrique, on voit tout à coup entre deux zones transparentes un point opaque formé par la superposition des images provenant des deux mains.

Ce point opaque est reporté dans une situation intermédiaire entre les deux mains, et sa formation s'explique par notre figure IV.

Ainsi, en récapitulant l'essentiel de cette discussion, voici quelles seront les sensations visuelles perçues dans l'exemple que nous avons choisi :

A l'extrême gauche, on voit une partie du plan P vue binoculairement : à droite se montre une image transparente provenant du corps MN et du plan P, puis une image opaque suscitée par les deux parties $M\alpha$ $N\delta$ de l'écran MN, plus à droite apparaît une image transparente à la suite de laquelle on voit la seconde image opaque émanant des deux écrans, enfin suit une dernière image transparente sur l'écran QR ; à l'extrême droite, le plan P se revoit binoculairement.

Comme nous ne pouvons pas nous étendre ici sur des questions plutôt mathématiques que physiologiques, nous terminerons ce sujet par l'énoncé de la règle à suivre pour limiter sur un corps placé devant les yeux, les parties qui seront vues transparentes.

Dans l'épure, on représente les yeux et le corps considérés dans leurs deux projections, puis on mène tous les rayons lumineux passant par les deux centres optiques et tangents au corps. Pour chaque œil on a ainsi un cône différent dont on connaît les génératrices. Les parties du corps opaques sont celles qui, étant comprises dans ces deux cônes, émettent des rayons correspondants dans les deux yeux, c'est-à-dire, vont frapper les points identiques.

Toutes les autres parties sont vues transparentes.

3° Abordons maintenant cette objection capitale contre la doctrine des points identiques, tirée de la perception du relief : nous allons montrer que, loin de réfuter cette théorie, elle la confirme d'une manière complète.

Tous les physiologistes sont d'accord à reconnaître que la sensation du relief provient essentiellement de la différence des deux images rétiniennes perçues dans les deux yeux. Or cette différence, si importante, si essentielle, comment la percevons-nous suivant les partisans de la théorie empiristique ? de la même manière que nous percevons par le toucher les différentes parties d'un corps ; seulement, disent-ils, le sens de la vue est bien plus délicat que celui du toucher, et permet de saisir les plus petites dissemblances des tableaux rétiniens, et de les analyser.

Nous avons démontré, dans un chapitre précédent, que lorsqu'il s'écoule un quart de seconde entre les deux images qui viennent impressionner les deux yeux, l'impression de relief ne se fait plus sentir. Nous allons maintenant compléter ce sujet en prouvant que c'est par la liaison anatomique des points identiques que la perception de la différence des tableaux rétiniens est possible.

Je suppose un observateur placé devant un corps de formes variées, et assez près pour que les images perçues par chaque œil soient bien distinctes l'une de l'autre, voici ce qui va se passer :

L'image perçue par l'œil gauche excite la formation d'une image d'illusion dans l'œil droit ; cette image sera par conséquent identique à la première. Mais l'image réelle perçue par l'œil droit, en suscitera une également dans l'œil gauche, et ces deux images dans chaque œil,

l'une réelle, l'autre d'illusion, seront des images stéréoscopiques.

Une construction géométrique bien simple nous montre ainsi quatre images identiques deux à deux.

Dans chaque œil il y a simultanément une image réelle et une image d'illusion. La différence entre ces deux images est la même dans chaque œil, elle est parfaitement identique, et se peint sur des points correspondants.

C'est maintenant que les phénomènes de mémoire et d'habitude vont jouer le rôle essentiel pour *l'interprétation* de cette différence des images rétiniennes, si nettement sentie et perçue, grâce uniquement à la disposition anatomique.

Nous voyons que cette différence est d'autant plus marquée, que les objets sont près de nous, qu'elle est très-faible pour ceux qui sont un peu loin, qu'elle varie suivant leur orientation, etc., etc. ; à ces indications se mêlent les contrastes d'ombres et de couleur d'un effet très-puissant pour la perception complète du relief.

Voilà l'éducation sensorielle par laquelle le jeune enfant passe, sans s'en douter, et que reçoivent également les aveugles de naissance qui interprètent, après l'opération, leurs premières sensations visuelles.

Cela peut encore mieux se prouver en prenant un exemple :

Je suppose que le corps considéré est tourné de telle sorte que sa face antérieure soit un plan normal à celui des axes optiques et à la direction du regard, tandis que les parties latérales sont fuyantes. Dans la fig. V (Pl. III) nous représentons une pyramide tronquée ; les axes optiques se coupent dans le plan antérieur de la pyramide.

Cette condition nous montre que le triangle du sommet

produira, dans les deux yeux, deux images qui affecteront des points identiques; mais il n'en sera plus de même du triangle de la base, lequel est situé plus loin que l'entre-croisement des axes optiques, il affectera, dans les deux yeux, des points non-correspondants; les traits pleins de la figure représentent l'image réelle perçue par chaque œil, et les traits pointillés sont la représentation des images d'illusion.

Dans les deux dessins A et B, la différence des traits pleins et pointillés est rigoureusement identique, et doit l'être en vertu même de la manière dont les images sont formées.

Si l'on fusionne en une seule image ces quatre contours, en faisant passer l'axe optique de l'œil gauche par le centre du dessin A, et l'axe optique droit par le dessin B, on éprouve instantanément l'impression du corps lui-même, et l'on voit qu'en effet les traits pointillés sont recouverts par les traits pleins dans l'image binoculaire, ce qui confirme notre déduction.

Pour le triangle du sommet qui produit des images identiques, nous jugeons qu'il est une surface plane; pour les parties latérales, au contraire, plus les dessins pleins et pointillés diffèrent, plus leur relief s'accuse et se prononce.

Ainsi, pour augmenter l'intensité du relief, la seule règle à suivre est d'augmenter la différence entre les deux images rétiniennes, et, pour cela, de diminuer la distance qui nous sépare de l'objet; nous le faisons d'une manière tout instinctive.

La figure V nous servira également à démontrer une remarque importante, c'est que la sensation du relief n'entraîne pas la vision simple de l'objet dans sa totalité, mais seulement des points où se dirige spécialement notre regard.

Dans la partie voisine des sommets sur notre figure V, il est difficile de distinguer nettement les traits pleins des traits pointillés ; dans la vision naturelle il en est de même, on ne peut pas préciser, d'une manière parfaitement claire, où commencent les images doubles et où s'arrête la vision binoculaire simple. Pour les parties un peu distantes, le doute ne devient plus possible.

L'explication que nous venons de donner du relief, entraîne forcément comme condition la présence simultanée des impressions lumineuses sur les deux rétines, car, autrement, nous ne pourrions apprécier la différence des images perçues que par l'action de la mémoire décidément trop faible.

Cette conclusion a été démontrée en accord avec l'expérience.

Le mécanisme du relief ainsi établi, n'exclut nullement les causes qui augmentent en nous son intensité. Les lois qu'en a données M. Helmholtz, admirablement développées par ce savant émérite, restent d'accord avec notre théorie et avec les faits, et nous montrent combien de choses concourent simultanément à ce travail mi-organique, mi-psychique de la détermination complète du relief des objets.

4° Avant de passer à l'explication des autres phénomènes de la vision binoculaire, je tiens à relever un fait qui pourrait introduire une erreur si on n'y prend garde. On cite, dans plusieurs ouvrages, des expériences dans lesquelles des impressions tombant sur des points identiques, ne sont pas fusionnées et donnent naissance à deux images. Tantôt ce sont deux fortes lignes noires et deux lignes fines qu'il faut associer, de manière à voir la ligne noire sur la ligne fine dans chacun des yeux, tantôt

ce sont de petites croix noires tracées sur des fonds différemment colorés et que l'on doit dissocier alors même qu'elles affectent des points identiques.

Je dois dire que j'ai refait ces expériences avec le plus grand soin, et que j'ai ressenti les impressions décrites, mais chaque fois je constatais que la direction des axes optiques n'était pas celle que l'on supposait : lorsque, par des moyens auxiliaires, je rendais la direction des axes parfaitement invariable, *jamais* je n'ai pu obtenir aucun résultat. Il m'a toujours été impossible de fusionner deux impressions lumineuses ne tombant pas sur des points correspondants, ou de dissocier des images affectant des points identiques.

Ce fait est fort essentiel à établir.

5° Le docteur M. J.-L. Prevost, connu par ses expériences de physiologie, a trouvé un procédé qui facilite extrêmement les dessins de préparations micrographiques, dans l'emploi de la chambre claire de Hartnach, il est basé entièrement sur la projection des images d'illusion. Lorsque l'œil droit, par exemple, est au-dessus du petit prisme de la chambre claire, il est quelquefois difficile pour certains opérateurs de suivre par ce même organe simultanément les objets au foyer du microscope et la pointe du crayon.

M. Prevost consacre son œil droit uniquement au microscope, tandis qu'il garde l'œil gauche ouvert et voit par la gauche son papier et son crayon. L'image réelle de droite se projette en image d'illusion par l'œil gauche sur le papier, et alors très-facilement on en trace les contours

Ce procédé, aussi exact que celui qu'on emploie ordinairement, présente l'immense avantage de permettre une grande rapidité dans l'exécution graphique et supprime toute fatigue.

M. Prevost a eu la complaisance de refaire toutes les expériences que nous avons décrites ici, et une foule d'autres que le peu de place nous empêche d'exposer, et a obtenu les mêmes résultats.

Les seules expériences qui diffèrent passablement, suivant les expérimentateurs, sont celles qui ont rapport à la fusion des couleurs en une couleur complémentaire. Dans une prochaine publication, nous les décrirons en montrant l'accord qui règne entre elles et la théorie des points identiques.

V

Dans tous les chapitres précédents, nous avons considéré la définition des points correspondants comme l'expression exacte de la réalité ; pour que la méthode scientifique que nous avons suivie ne soit pas en défaut, il faut appuyer ce postulat sur des preuves expérimentales.

Tel a été le but de nos recherches.

Nous n'exposerons ici que la méthode employée, en passant rapidement en revue les principaux résultats.

L'importance de la situation relative des points identiques dans la *fovea centralis* et la *maculuta lutea* est trop considérable pour ne pas attirer toute l'attention sur les procédés de leur détermination.

MM. Helmholtz et Wolkmann cherchent à déterminer la position des méridiens et des horizons rétiniens par l'emploi de deux disques blancs, traversés d'un diamètre noir.

On fixe un des disques et l'on fait tourner l'autre jusqu'à ce que, par la fusion des images binoculaires, les deux diamètres soient confondus en un seul.

Cette méthode présente de graves inconvénients et c'est cependant la seule employée.

D'abord elle part d'une idée préconçue, c'est que tous les points identiques de deux méridiens correspondants doivent se trouver dans un même plan. Rien ne nous en avertit *a priori*.

Il est aussi très-difficile de déterminer avec exactitude le moment et le lieu où deux traits, qui sont d'une certaine épaisseur, se fusionnent complétement ; une erreur de fraction de degré est presque inévitable.

Pour éviter autant que possible ces deux écueils, voici la méthode nouvelle que nous avons suivie :

Nous avons commencé par déterminer exactement la distance qui sépare nos deux centres optiques. Pour cela on fixe le regard sur un point éloigné dans une direction perpendiculaire à un carreau de vitre. Contre cette vitre on applique une règle graduée et on tient le bord de la règle presque au niveau du plan des axes optiques.

Entre le pouce et l'index on tend un fil délié, puis on le fait passer sur la règle graduée. Un aide lit la graduation marquant la position où le fil semble, pour l'œil gauche, couper le point de mire en deux, on transporte la main à droite où de nouveau le fil traverse par la moitié le point visé.

La distance qui sépare ces deux positions est rigoureusement égale à l'écartement des axes optiques et des deux *fovea*. Il va sans dire que la tête de l'observateur reste fixe et appuyée pour empêcher tout mouvement pendant l'opération.

Cela fait, nous traçons sur une feuille de carton deux systèmes de coordonnées rectangulaires parallèles entre eux, les deux origines étant à une distance l'une de l'autre égale à l'écartement des centres optiques, ainsi mesuré.

A l'extrémité d'une table est placée verticalement la

feuille de carton préparée ; à l'autre bout et derrière la tête de l'observateur se trouve une lampe qui éclaire fortement.

Pour opérer, on fusionne les deux origines en une seule ; deux projections stéréoscopiques d'un petit cube donnent l'impression du relief pendant l'image binoculaire et facilitent l'immobilité des axes optiques. Pendant ce temps un aide, de l'autre côté de la table, tient dans sa main un fil métallique noirci, terminé par une toute petite ampoule très-polie et luisante. Il la place contre la feuille de carton à l'intersection de deux coordonnées et l'y laisse. Dans son autre main il tient un fil identique qui obéit dans ses mouvements à l'ordre de l'observateur ; celui-ci guide cette espèce de petit fanal jusqu'à ce que les impressions lumineuses provenant des parties polies soient entièrement fusionnées. On lit alors les coordonnées de l'indice mobile et on les compare avec celles de l'ampoule fixe.

Les avantages de cette détermination des points correspondants consistent dans l'exactitude scrupuleuse des résultats et la simplicité de la méthode.

On remplace des lignes obscures par des points lumineux, points qui peuvent être aussi petits qu'on le désire.

On peut de cette manière étudier dans toutes ses parties le champ visuel.

On recommencera des expériences analogues pour différents angles de convergence des axes optiques, on détermine ainsi l'angle de rotation du globe de l'œil pendant ce mouvement de convergence.

Les formules de trigonométrie rectiligne et sphérique permettent de trouver des expressions générales de réduction.

Voici les résultats que nous avons obtenus en maintenant les axes parallèles :

Les coordonnées très-finement tracées de 5 en 5 millimètres n'étaient plus du tout visibles à 75 centimètres, distance à laquelle se trouvaient les yeux de l'observateur.

Pour les parties de la rétine voisines de la *fovea centralis* et qui étaient excitées par des points compris sur la feuille de carton dans un cercle de 5 centimètres de rayon autour des origines, les différences entre les coordonnées de l'ampoule fixe et de l'ampoule mobile ont été au plus de 1 millimètre.

Or à la distance de 75 centimètres c'est tout au plus si l'on distingue deux points séparés par $^1/_4$ de millim.

Les petits cubes représentés en projections stéréoscopiques avaient 2 millimètres de côté, il est donc possible que la différence si faible trouvée entre les coordonnées des deux ampoules, provienne d'un léger mouvement des axes optiques qui entraînerait un petit déplacement dans l'ampoule mobile.

Les points situés hors du cercle de 5 centimètres de rayon, à partir de l'origine, sous-tendent par rapport aux axes optiques un angle de plus de 4 degrés : aussi sont-ils vus avec moins de netteté ; mais on peut encore facilement avoir des indications exactes. Les plus grandes différences trouvées pour les points contenus dans un rayon de 16 centimètres, furent de 2 millimètres.

La superposition des images lumineuses devient impossible pour la partie du champ visuel où se projette la tache obscure, le *punctum cæcum*. Il n'y a alors qu'une seule ampoule de visible par un œil, et on ne projette par l'autre œil aucune image d'illusion. Il y a donc une partie des deux rétines où les points ne sont pas correspondants.

On ne peut pas éprouver la sensation du relief, pour les corps qui viennent se peindre sur ces parties symétriquement situées dans les deux rétines, mais qui ne sont pas anatomiquement liées entre elles.

Pour les portions tout à fait périphériques des rétines, la vision est pâle et peu distincte, les erreurs possibles sont assez grandes, et nous avons constaté des différences de 5 millimètres. En refaisant ces expériences plusieurs fois, nous avons trouvé des résultats concordants, mais les signes des différences variaient; ce fait montre que la seule quantité essentielle est la distance absolue elle-même qui mesure la différence des coordonnées des deux ampoules brillantes.

On peut en conclure que les éléments nerveux des parties périphériques de la rétine ont un diamètre supérieur à ceux de la *fovea*.

Cette recherche directe des points correspondants prouve qu'ils sont réellement symétriquement placés dans les yeux, c'est-à-dire qu'ils ont les mêmes coordonnées si on les rapporte à deux systèmes d'axes parallèles ayant chacun leur origine au centre optique.

Nous avons communiqué ces résultats à M. le professeur Cellérier, qui a eu l'obligeance de déterminer, sur ces données, le lieu horoptérique et d'en faire la discussion complète dans tous les cas possibles.

Nous publierons plus tard, dans son entier, ce remarquable travail mathématique que nous devons au savoir de notre éminent professeur.

Avant de tirer les conclusions finales qui ressortent des faits que nous venons d'exposer, nous désirons appuyer encore sur deux points importants.

Le premier est le résultat des recherches de M. E.

Hering, sur les mouvements coordonnés des deux yeux : il montre, par de nombreuses expériences, que dans une situation quelconque du regard, il y a un rapport constant entre l'accommodation du cristallin et la contraction des muscles antagonistes des yeux. Le système nerveux, moteur des deux yeux, a des centres d'inervation communs. Ce fait est déjà une réponse à ceux qui soutiennent, d'une manière exclusive, la théorie empiristique.

Le second point que nous voulons envisager, est un accident pathologique assez rare, mais observé d'une manière complète, et dont nous avons nous-même vu un cas remarquable dans la clynique de M. Marc Dufour, oculiste chef de l'établissement des aveugles de Lausanne.

Il arrive quelquefois qu'un strabique est opéré pour ramener les yeux dans leur position normale. L'opération faite, il se trouve que le malade est affecté de diplopie et voit double tous les objets. Pour le guérir, on doit lui faire subir une seconde ténotomie qui ramène les yeux dans leur premier état, le patient est de nouveau strabique, mais il jouit de la vision simple binoculaire.

On s'est servi de cette anomalie, appelée incongruence des rétines, comme d'une arme puissante contre la théorie nativistique ; il est cependant certain qu'elle n'est qu'un argument de plus en sa faveur.

Dans les annales de la clinique de M. Græffe, tous les cas d'incongruence des rétines ont été signalés chez des strabiques de naissance, et il n'y a pas d'exemple que des personnes frappées accidentellement de strabisme aient subi cette modification dans l'appareil visuel.

Les partisans de la théorie empiristique assurent que l'habitude joue un rôle essentiel dans la vision binocu-

laire simple, puisque, dans les cas d'incongruence des rétines, il y a fusion d'impressions lumineuses là où elles n'affectent pas de points correspondants.

C'est cette base du raisonnement que nous contestons. Est-on sûr que, dans ces cas bizarres, l'incongruence des rétines soit la suite et la conséquence du strabisme ? pourquoi ne voit-on pas alors l'incongruence se retrouver chez tous les strabiques ?

N'est-elle pas plutôt la *cause* du strabisme, puisque jamais on ne l'a signalée sans cette affection, et que c'est en opérant le strabisme qu'on s'en est aperçu.

La rétine, ainsi que tous les organes du corps, est sujette à des accidents fortuits qui modifient son développement.

Un déplacement latéral de la rétine n'a rien de plus étonnant que la déviation de la colonne vertébrale ou toute autre difformité.

VI

Il nous faut maintenant appuyer sur les conclusions qui découlent de la méthode expérimentale que nous avons suivie, basée sur l'hypothèse de la théorie nativistique.

L'accord complet entre les déductions théoriques et les résultats de l'expérience constitue la synthèse de l'hypothèse et la vérifie.

Nous sommes donc fondés en affirmant que deux points identiques sont anatomiquement liés entre eux et qu'ils fusionnent en une seule impression les images qui viennent s'y peindre.

Du reste, la divergence d'opinion qui sépare les partisans des deux théories, perd beaucoup de sa valeur si

l'on embrasse d'un coup d'œil général l'ensemble des êtres et leur développement successif.

Le célèbre physiologiste hollandais Donders expose ses idées, à cet égard, d'une manière remarquable dans un récent mémoire.

Intimement convaincu des modifications progressives qui se sont manifestées dans les êtres vivants, Donders cherche à en expliquer les causes et à en développer les effets. Il arrive à ce résultat général et universel, c'est que chaque fois qu'un être, par suite de circonstances quelconques, volontaires ou fortuites, est appelé à répéter souvent le même mouvement, à percevoir fréquemment les mêmes impressions et à tendre vers un but déterminé, il aura des descendants plus aptes que les autres à remplir ces mêmes fonctions. L'organisme de ces êtres provenant du type premier est changé, modifié par la différence des tendances et des milieux où ils vivent, voilà le fait capital.

Un mouvement qui chez le père était uniquement volontaire, tendra à devenir habitude chez le fils: plus tard ce mouvement s'accentuera encore davantage, et dans les générations suivantes deviendra presque une nécessité et une condition d'existence.

Or, appliquons cette loi à la vision binoculaire, et voyons en somme à quoi se résout le différend entre les partisans des théories nativistique et empiristique. Les uns disent :

Il y a des points correspondants dès la naissance de l'enfant, et l'habitude n'a aucune influence; les autres soutiennent que la correspondance des points identiques n'est produite que par l'habitude.

Au commencement de l'espèce humaine, admettons

que les partisans de la doctrine empiristique eussent totalement raison, à force de fusionner de plus en plus les images qui affectent les points correspondants, ils en prennent l'habitude. Cette habitude se perpétue de générations en générations, s'accroît, s'augmente, agit sur la structure anatomique de l'appareil de la vue et forme le chiasma, l'entre-croisement des fibres nerveuses, et modifie puissamment la position relative des yeux; en un mot, cette tendance agissant pendant des siècles, a fait que la disposition organique s'est prêtée de plus en plus à la fonction qu'on lui faisait remplir.

Par l'hérédité, le jeune enfant a déjà tout ce qu'il faut pour associer de suite en une seule image les impressions lumineuses qui affectent des points correspondants.

Ces deux grandes théories ont donc beaucoup plus de rapport qu'il ne semble au premier abord, mais il faut les dépouiller du caractère étroit qu'on leur a donné, et envisager la question d'une manière générale, dans l'ensemble des êtres qui ont vécu auparavant, et qui ont légué à notre humanité sa forme actuelle.

Telles sont les conclusions qui terminent le contenu de ce mémoire, dont nous n'avons donné qu'un court résumé.

RECHERCHES ANALYTIQUES
SUR LES ROCHES
SOUS LE POINT DE VUE
DE LEURS PRINCIPES ABSORBABLES PAR LES VÉGÉTAUX

PAR

M. CONSTANT KOSMANN
Docteur ès sciences

Les substances organiques nécessaires aux plantes pour leur évolution complète, sont disséminées dans les roches formant la charpente du globe. C'est sous ce point de vue d'utilité que j'ai, depuis 1865, exécuté une série d'analyses chimiques, dans le but spécial de rechercher et de doser ces substances, afin de constater une fois de plus, que le règne inorganique fournit au règne organique tout ce que celui-ci peut exiger en principes minéraux, pour arriver au point culminant de son développement, qui est la production de la semence. Ces principes minéraux sont surtout le phosphate de chaux, la potasse, la soude, l'oxyde de fer, etc. ; c'est pour les rechercher que j'ai fait ce travail. Je fus assez heureux pour constater la présence de l'acide phosphorique dans presque toutes les roches porphyriques, syénitiques, granitiques, dans la grauwacke métamorphique, dans tous les calcaires des terrains jurassiques et triasiques. Les quantités d'acide phosphorique qui sont ainsi répandues dans les calcaires qui constituent les montagnes du Jura, et dans les terrains de transition qui forment une

partie des Vosges, sont énormément grandes ; cependant elles sont perdues pour l'agriculture, en ce que personne n'a encore songé à les employer comme engrais. Les essais que j'ai faits dans ce dernier but, montrent que l'avenir leur réserve une belle place parmi les corps minéraux qui pourront servir d'amendement et d'engrais aux terres arables.

La méthode analytique que j'ai suivie est la suivante : Traitement de la roche finement pulvérisée et séchée, par l'acide sulfurique à 66° purifié, ou par l'acide nitrique pur à 40°, ou par l'acide nitro-chlorhydrique, digestion durant plusieurs jours, puis ébullition pendant 20 minutes ; addition d'eau distillée, filtration, lavage du résidu insoluble s'il y en avait, dessication de ce résidu à 100° C., puis on le pesait. La solution nitrique était évaporée à siccité très-forte, le résidu, repris ensuite par l'acide nitrique dilué, laissait insoluble la silice qu'on pesait après lavage, et dessication à 100° C. La liqueur était complétée par l'eau distillée pour obtenir 40 centimètres cubes. On en prenait ordinairement 15 ou 20 centimètres cubes, contenant un poids déterminé de roche. On ajoutait de l'acide sulfurique pur, et ensuite de l'alcool, d'où précipitation de sulfate calcique qu'on lavait à l'alcool, séchait et calcinait ; ce sulfate pesé donnait le poids de la chaux. La liqueur délivrée de la chaux était évaporée pour chasser l'alcool, on y ajoutait alors de l'ammoniaque et une solution de sulfate de magnésie, de chlorure ammonique et d'ammoniaque ; il se formait un précipité d'oxyde ferrique et de phosphate ammoniaco-magnésien, on ajoutait de l'acide tartrique, on sursaturait d'ammoniaque, l'oxyde ferrique se redissolvait, et il restait du phosphate ammoniaco-magnésien ; ce

précipité grenu était recueilli après vingt-quatre heures, sur un filtre, légèrement lavé et redissous dans un excès d'acide nitrique pur, on ajoutait au soluté quelques gouttes de solution d'acide tartrique et de l'ammoniaque, qui redonnait le phosphate ammoniaco-magnésien ordinairement blanc ; s'il retenait encore une teinte jaunâtre, je le redissolvais une seconde fois dans l'acide nitrique en excès, et de nouveau je le reprécipitais par l'ammoniaque ; enfin, le phosphate ammoniaco-magnésien était recueilli sur deux filtres égalisés sur la balance et placés l'un dans l'autre, on le lavait à l'eau distillée ammoniacale, on le séchait à la lampe d'huile et on calcinait chaque filtre à part, d'où formation dans l'un de pyrophosphate de magnésie, plus les cendres du filtre, et dans l'autre de cendres du filtre seulement. On obtenait ainsi le poids du pyrophosphate de magnésie qui me donnait le poids de l'acide phosphorique. Notons que l'acide phosphorique était constaté préalablement par le molybdate ammonique d'une manière qualitative ; et, de plus, on observait la correction indiquée par Frésénius, au sujet de la très-légère solubilité du phosphate ammoniaco-magnésien dans les eaux mères et de lavage. Une autre portion de la solution nitrique était privée de la chaux par l'acide oxalique, puis elle était évaporée et le résidu calciné fortement. Il consistait alors en oxydes ferrique, magnésique, potassique et sodique, et acide phosphorique ; ce résidu était redissous dans l'acide nitrique, et la dissolution additionnée d'acide tartrique donnait par l'ammoniaque du phosphate ammoniaco-magnésien, lequel calciné, fournissait du pyrophosphate de magnésie, et donnait le poids de la magnésie. La dissolution délivrée d'une partie de la magnésie et de tout l'acide phos-

phorique, était évaporée à siccité, et le résidu calciné pour détruire les acides tartrique et nitrique, d'où l'on obtenait l'oxyde ferrique, la potasse, la soude et le reste de la magnésie : traitant ce dernier résidu par l'acide nitrique en excès, on avait une dissolution qui, par l'ammoniaque, donnait l'oxyde ferrique, qui était recueilli sur un double filtre, lavé et calciné avec addition de quelques gouttes d'acide nitrique : d'où son poids, après déduction des cendres du filtre ; la dissolution privée du fer et renfermant la potasse, la soude et le reste de la magnésie était évaporée à siccité et le résidu calciné fortement, il restait les oxydes potassique, sodique et magnésique, on ajoutait de l'eau distillée qui laissait indissoute la magnésie qui, lavée et calcinée, puis pesée, donnait son poids ; la potasse et la soude dissoutes converties en chlorures, étaient pesées sous cet état. On ajoutait du bichlorure de platine, on évaporait presque à siccité, on ajoutait de l'alcool qui laissait insoluble le chloroplatinate potassique, qu'on recueillait sur un double filtre pesé, qu'on lavait à l'alcool, séchait à 100° C. et pesait pour obtenir le poids de la potasse. La liqueur alcoolique retenant la soude avec l'excès de chlorure platinique, était évaporée à siccité, et le résidu calciné, il restait du chlorure sodique avec platine métallique, lequel restait insoluble par le traitement aqueux, tandis que le chlorure sodique se dissolvait et me donnait son poids, par l'évaporation à siccité, d'où je déduisais le poids de la soude.

N° 1. — Porphyre bleuâtre des environs de Schirmeck et d'Otrott (Vosges). Traitée par l'acide nitrique pur à 40°, cette roche desséchée m'a fourni en 100 grammes :

Acide phosphorique	1,958
Potasse	0,656
Soude	0,997
Magnésie avec trace d'oxyde de manganèse	4,058
Silice	non pesés.
Sesquioxyde de fer	non pesés.
Chaux	non pesés.

N° 2. — Une autre portion de la même roche, traitée par l'eau régale, m'a donné en 100 grammes :

Acide phosphorique	1,787		
Potasse	0,549		
Soude	1,007		
Magnésie	3,810	$=CO^2MgO$. 8,001	=16,402 de dolomie.
Chaux	4,705	$=CO^2CaO$. 8,401	=16,402 de dolomie.
Sesquioxyde de fer	9,093		
Silice	0,184		
Acide carbonique combiné à CaO et MgO	8,887		
	30,022	partie soluble dans l'eau régale.	
	69,978	partie insoluble dans l'eau régale et qui forme un silicate d'alumine avec excès d'acide silicique.	
	100,000		

La chaux et la magnésie y sont à l'état de carbonates, la potasse et la soude à l'état de silicates, l'oxyde de fer est combiné à l'acide phosphorique et à l'acide silicique.

N° 3. — Quatre autres analyses de la même roche m'ont donné en acide phosphorique, une moyenne de 1,994 pour cent. Il y existe toujours à l'état de phosphate ferroso-ferrique $=2PO^5, 4FeO, Fe^2O^3 = 7184$ pour cent ou 47,18 grammes par kilogramme, correspondant à 43,53 gr. de $PhO^5 3CaO$.

La roche est composée de feldsphath oligoclase, d'amphibole ferrugineux, de dolomie et de vivianite.

N° 4. — Analyse d'une grauwacke métamorphique qui se trouve en galets roulés dans le lit mis à sec du torrent la Fecht près de Turckeim (Vosges). C'est une pâte d'oligoclase et de quartz, colorée en gris foncé par l'amphibole, avec paillettes brillantes de mica, non effervescente avec les acides. Cette roche est d'une très-grande dureté, elle sert de pavage aux rues. Finement pulvérisée et parfaitement séchée, elle présente une poudre grise, qui fut traitée pendant sept jours par l'acide sulfurique pur de 66°, puis, le mélange chauffé deux heures et demie. Elle a fourni en 100 gr. :

Acide phosphorique	1,430	à l'état de $2\,PhO^5, 4\,FeO, Fe^2O^3$.
Chaux..........	0,809	à l'état de silicates.
Magnésie	0,823	
Sesquioxyde de fer avec trace d'alumine.	7,882	à l'état de phosphate et de silicate.
Soude..........	0,398	à l'état de silicate.
Potasse.........	0,274	
Silice..........	0,010	
	11,626	partie soluble dans SO^3HO.
	84,241	résidu insoluble dans SO^3HO, composé de silicate acide d'alumine et de chaux, plus du quartz.
	4,133	perte.
	100,000	

Cette roche a cédé à l'acide, 3,685 grammes de $2\,PhO^5, 4\,FeO, Fe^2O^3$ pour cent, et par conséquent 36,85 gr. par kilogramme, correspondant à 31,21 gr. $PhO^5, 3\,CaO$.

N° 5. — Analyse d'un schiste argileux noir-gris, tendre, du terrain carbonifère de la vallée de Kattenbach, près de Thann (Vosges). Traité après pulvérisation et dessication, par SO^3 HO pur, il a cédé à cet acide pour 100 grammes :

Alumine........	5,468	
Sesquioxyde de fer.	12,416	
Magnésie.......	1,742	
Potasse.........	0,496	
Soude..........	1,320	
Silice trace.		
	21,442	partie soluble dans SO^3,HO.
Le résidu gris-noir contient du charbon et pèse.........	78,558	partie insoluble dans SO^3HO.
	100,000	

Ce schiste a un aspect gris-jaunâtre foncé, ardoisé : il est facile à pulvériser : il se présente en feuillets facilement clivables, onctueux au toucher. C'est un silicate d'alumine, d'oxyde de fer, de magnésie, de potasse et de soude avec mélange de charbon ; il y a absence de chaux, d'acide carbonique et d'acide phosphorique. Le résidu insoluble est un silicate acide d'alumine charbonneux.

N° 6. — Analyse d'un porphyre bleuâtre syénitique, de la vallée de Kattenbach, près de Thann (Vosges). Il est formé de feldspath oligoclase et d'amphibole magnésien, ferreux, entremêlé de petits grains de carbonate calcique, avec phosphate ferroso-ferrique. 100 parties desséchées cédèrent à SO^3,HO pur :

Chaux carbonatée.	1,619	= chaux, 0,907.
Magnésie	7,759	à l'état de silicate.
Sesquioxyde de fer.	8,515	= 7,947 $(FeO)^4$, Fe^2O^3 (état sous lequel il existe dans la roche).
Acide phosphorique	0,676	à l'état de phosphate ferroso-ferrique.
Potasse.........	0,405	à l'état de silicates.
Soude..........	1,023	
Alumine, traces.		
	19,997	partie soluble dans SO^3HO.
	80,003	partie insoluble dans SO^3HO, formée de silicate acide d'alumine d'un blanc grisâtre.
	100,000	

L'acide y forme la combinaison $2PhO^5, 4FeO, Fe^2O^3$ du poids de 1,742 pour cent, équivalant à 1,4757 de phosphate tricalcique ou 14,75 gr. par kilogramme.

N° 7. — Analyse d'un porphyre syénitique gris-noir, de la carrière à la côte de Ste-Marie aux Mines (Vosges). Il est formé de silicates d'oxyde ferreux, de magnésie et de chaux (amphibole) et de silicates d'alumine, de soude et de potasse (oligoclase) avec phosphate ferroso-ferrique. 100 parties desséchées cédèrent à SO^3,HO pur.

Acide phosphorique	1,922	à l'état de $2PhO^5, 4FeO, Fe^2O^3$.
Chaux..........	0,749	à l'état de silicate.
Sesquioxyde de fer avec un peu d'alumine	13,497	combiné à PhO^5 et à SiO^2, comme $4FeO, Fe^2O^3$.
Magnésie........	6,355	à l'état de silicate.
Potasse.........	0,315	idem.
Soude..........	0,603	idem.
	23,441	partie soluble dans SO^3HO.
	76,559	partie insoluble dans SO^3HO, et composée de silicate acide d'alumine blanc grisâtre.
	100,000	

Il y a 4,953 pour cent de $2 PhO^5, 4 FeO, Fe^2O^3$, ou 49,53 gr. par kilogramme correspondant à $PhO^5, 3CaO$ 41,95 gr.

N° 8. — Analyse d'une syénite amphibolique répandue en profusion, comme galets dans le sous-sol graveleux des environs de Neuf-Brisach. 100 parties desséchées, traitées par l'acide nitrique à 40° pur, lui cédèrent :

Silice	0,150	
Acide phosphorique	0,020	
Potasse	0,077	} = 0,648.
Soude	0,571	

Sesquioxyde de fer avec une trace d'alumine, environ 8 pour cent.

L'acide phosphorique y existe à l'état de phosphate ferroso-ferrique, dont il y a 0,0515 p. cent ou 0,515 gr. par kilogr. correspondant à 0,436 gr. de $PhO^5 3 CaO$.

Cette même syénite traitée par SO^3, HO pur lui céda pour 100 parties :

Potasse	0,616
Soude	0,755
	1,371

L'acide sulfurique exerce ainsi sur la syénite une action dissolvante bien plus grande que l'acide nitrique, car le premier a dissous 1,371 p. cent de potasse et de soude et le second seulement 0,648 p. cent de ces alcalis.

N° 9. — Analyse d'un muschelkalk des environs de Landau (Palatinat), gris, conchoïde, renfermant l'*avicula socialis*. Desséché fortement, ce calcaire renferme en 100 parties :

Acide phosphorique	0,129
Magnésie	0,880
Potasse	0,274
Soude	1,196
Argile brune	6,000

Et à l'état de combinaisons salines :

Phosphate tricalcique (PO^5, 3 Ca O)	0,281
Carbonate de magnésie	1,848
Carbonate de potasse	0,403
Carbonate de soude	2,340
Argile brune	6,000
Carbonate de chaux avec un peu d'oxyde ferrique	89,128
	100,000

Absence de Cl H et de SO^3.

Il y a par kilogr. de roche 2,81 gr. de phosphate tricalcique, 4,03 gr. de CO^2KO et 23,40 gr. de CO^2NaO.

N° 10. — Analyse d'un calcaire jurassique jaunâtre, oolitique, appartenant au groupe de la grande oolite de l'étage bathonien du pays de Baden et renfermant :

un pentacrinites,
un ammonite,
ostræa deldoidea,
» virgula,
» gregaria,
» dilatata,
actæon (cylindrites) acutus.

Cent parties desséchées contiennent :

Acide phosphorique	1,728
Potasse	0,494
Soude	1,533

Et à l'état de combinaisons salines :

Phosphate tricalcique.....................	3,814
Carbonate potassique	0,725
Carbonate sodique	2,999
Carbonate calcique avec de très-petites quantités d'oxyde ferrique et de carbonate de magnésie.....	92,462
	100,000

Un kilogramme de ce calcaire, qui a servi aux expériences agricoles ci-dessous, contient 38,14 gr. de phosphate de chaux, 7,25 de carbonate de potasse et 29,99 de carbonate de soude.

N° 11. — Ce même calcaire oolitique pulvérisé et desséché, puis macéré et ensuite bouilli avec de l'eau distillée, lui céda pour 100 grammes :

Potasse...	0,02280	équivalant à	CO^2KO	0,03347
Soude....	0,06296		CO^2NaO	0,12318
	0,08576			0,15665

Un kilogramme cédera à l'eau 1,5665 gr. de carbonates de potasse et de soude.

N° 12. — Une chaux vive provenant de la calcination du calcaire précédent, parfaitement desséchée et traitée ensuite par l'acide nitrique pur, me donna : acide phosphorique 1,7716 pour cent, qui correspondent à phosphate tricalcique 3,8675 pour cent.

N° 13. — Cent parties de cette même chaux vive pulvérisée et desséchée, traitées par l'eau distillée, lui cédèrent outre la chaux :

Potasse...	0,02890	équivalant à	CO^2KO	0,04244
Soude....	0,07753		CO^2NaO	0,13256
	0,10643			0,17500

Un kilogramme de cette chaux vive cédera à l'eau 1,75 gr. de carbonates de potasse et de soude.

N° 14. — J'ai pris chaux vive non délitée et syénite amphibolique ci-dessus analysées, toutes deux pulvérisées, de chaque 2 grammes, et les ai fait bouillir ensemble avec de l'eau distillée à trois reprises, après une digestion préalable de vingt-quatre heures; la liqueur filtrée et les eaux de lavage réunies donnèrent en carbonates de potasse et de soude 0,006 gr., lesquels analysés par le Pt,Cl^2, donnèrent $CO^2KO=0{,}00141$, lesquels retranchés du mélange 0,006, donnent 0,00459 de CO^2NaO. Mais les 2 grammes de chaux vive cèdent à l'eau distillée suivant l'analyse précédente, 0,0035 gr. de CO^2KO+CO^2NaO; en retranchant ce nombre de 0,006, il reste 0,0025 de CO^2KO+CO^2NaO que la syénite a cédés à l'eau ou 0,125 pour cent. Cette expérience prouve que la chaux vive, agissant sur la syénite ou un granite quelconque, le décompose lentement, en fournissant une certaine quantité de carbonates alcalins assimilables par les plantes; dans l'expérience précédente, il y en aurait 150 grammes de fournis par 100 kilogrammes du mélange de syénite et de chaux vive.

N° 15. — Analyse d'un calcaire jurassique oolitique du massif de Mertzingen et Uberimsingen près de la Forêt-Noire, dans le pays de Baden. Ce calcaire est grisâtre, sans coquilles marines, avec cristaux rhomboëdriques très-petits de carbonate calcique. 100 gr. desséchés, traités par l'acide nitrique pur, m'ont fourni :

Acide phosphorique	0,48178
Magnésie	0,62190
Potasse	0,38310
Soude	2,77905
Sesquioxyde de fer	0,24780
Chaux	44,09897
Acide carbonique	38,72140
Matière argileuse jaune avec un peu de matière organique	12,66600
	100,00000

Ces éléments combinés entre eux donnent en 100 gr. :

Phosphate tricalcique	1,051
Carbonate de magnésie	1,289
Carbonate de chaux	78,748
Carbonate de potasse	0,562
Carbonate de soude	5,437
Oxyde ferrique	0,247
Matière argileuse jaune avec un peu de matière organique	12,666
	100,000

Un kilogramme contient 10,51 gr. de phosphate de chaux, 5,62 de carbonate de potasse et 54,37 de carbonate de soude.

N° 16. — Une deuxième analyse d'un autre morceau du même calcaire m'a donné en 100 grammes :

Acide phosphorique 0,901 fournissant 1,966 de phosphate tricalcique, ou 19,66 gr. par kilogramme.

N° 17. — Analyse du calcaire jurassique oolitique de la colline sous-vosgienne du Blumenberg, derrière Colmar. 100 grammes desséchés traités par l'acide nitrique m'ont fourni :

Acide phosphorique	0,430
Sesquioxyde de fer.....	0,114
Chaux...............	54,300
Magnésie............	0,236
Potasse..............	0,307
Soude...............	0,104
Acide carbonique......	43,654
Argile jaune..........	0,855
	100,000

Unis en combinaisons sous-salines, ces éléments donnent en 100 parties :

Phosphate tricalcique ...	0,9398
Sesquioxyde de fer.....	0,1140
Carbonate de chaux	96,9655
Carbonate de magnésie..	0,4954
Carbonate de potasse ...	0,4513
Carbonate de soude.....	0,1787
Argile jaune..........	0,8553
	100,0000

Un kilogramme contient 9,398 gr. de phosphate de chaux, 4,513 de carbonate de potasse, et 1,787 de carbonate de soude.

N° 18. — Analyse d'un calcaire jurassique oolitique d'une carrière des Vosges, derrière Colmar, servant de pierre de construction. Il est blanc jaunâtre et contient desséché en 100 grammes :

Acide phosphorique............	0,397
Sesquioxyde de fer............	0,799
Magnésie....................	0,235
Chaux......................	53,778
Potasse.....................	0,219
Acide carbonique..............	43,090
Argile jaune avec trace de matière organique à odeur bitumineuse.	1,482
	100,000

Les bases étant combinées aux acides, ce calcaire des Vosges donne en 100 parties :

Phosphate tricalcique	0,868
Sesquioxyde de fer............	0,799
Carbonate de magnésie.........	0,495
Carbonate de chaux	96,034
Carbonate de potasse	0,322
Argile jaune avec trace de matière organique à odeur bitumineuse.	1,482
	100,000

On remarque pour les deux calcaires jurassiques sous-vosgiens précédents, des environs de Colmar, dans l'avant-dernier la quantité minime de soude et dans le dernier l'absence complète de cette base. En effet 1 kilogramme du dernier calcaire ne contient que 3,22 gr. de $CO^2 KO$ et point de soude, mais il contient 8,68 gr. de $Ph O^5$, 3 Ca O.

N° 19. — Analyse d'un calcaire recueilli sur la colline le Letzenberg derrière Colmar, massif sous-vosgien. Il est gris jaunâtre, conchoïde, répandant par la contusion une odeur bitumineuse, de même que par la dissolution dans l'acide nitrique. Les coquilles y sont très-rares ; c'est un muschelkalk dont 100 parties désséchées contiennent :

Acide phosphorique	0,2886
Magnésie	0,5891
Sesquioxyde de fer.	0,7771
Chaux	50,9875
Potasse............................	0,2637
Soude.............................	0,2612
Acide carbonique	41,3596
Argile sablonneuse grise, rude au toucher.	5,4732
	100,0000

Les bases étant combinées aux acides, ce calcaire donne en 100 parties :

Phosphate tricalcique	0,6301
Carbonate de magnésie	1,2371
Sesquioxyde de fer	0,7771
Carbonate de chaux	91,0491
Carbonate de potasse	0,3868
Carbonate de soude	0,4466
Argile sablonneuse, rude au toucher	5,4732
	100,0000

1 kilogramme contient 6,301 gr. de $PhO^5, 3CaO$, 3,868 de CO^2KO, et 4,466 de CO^2NaO.

N° 20. — Analyse d'un muschelkalk, recueilli près de Westhalten, sur un massif sous-vosgien. Il est gris jaunâtre avec veines brunâtres ; sans coquilles, à odeur bitumineuse par la trituration et la dissolution dans l'acide nitrique. 100 parties desséchées contiennent :

Acide phosphorique	0,5105
Magnésie	4,1452
Sesquioxyde de fer	1,6886
Chaux	44,6398
Potasse	0,3516
Soude	1,3977
Acide carbonique	41,3943
Argile grise, rude, sablonneuse	5,8723
Acide chlorhydrique, légères traces	
	100,0000

Ce muschelkalk contient en 100 parties, bases combinées aux acides :

Phosphate tricalcique	1,1145
Carbonate de magnésie	8,7050
Carbonate de chaux	79,7142
Sesquioxyde de fer	1,6886
Carbonate de potasse	0,5158
Carbonate de soude	2,3896
Argile grise, rude, sablonneuse	5,8723
Chlorure de sodium, légères traces.	
	100,0000

Ce muschelkalk renferme 19,068 pour cent de dolomie. Un kilogr. contient 11,145 gr. de phosphate de chaux, 5,158 de carbonate de potasse et 23,896 de carbonate de soude.

N° 21. — Analyse d'un calcaire jurassique du mont Salève, au-dessus du lac de Genève, contenant une empreinte de *pecten lugdunensis*. Aspect blanc, à grain très-fin, sans oolites, fossiles d'une extrême rareté. Je crois qu'il appartient au terrain jurassique supérieur corallien ou peut-être même déjà au terrain crétacé inférieur. 100 parties de ce calcaire desséché m'ont fourni :

Acide phosphorique	0,6459	
Magnésie	0,8162	
Protoxyde de fer	0,9830	correspond à Fe^2O^3 1,0923
Potasse	0,4303	
Soude	1,8375	
Chaux	51,2505	
Acide carbonique	44,0366	
	100,0000	

Absence complète d'acide chlorhydrique, sulfurique et silicique.

A l'état de combinaisons salines il donne en 100 parties :

Phosphate tricalcique........	1,4102
Carbonate de magnésie.......	1,7140
Carbonate de protoxyde de fer..	1,5838
Carbonate de potasse........	0,6312
Carbonate de soude	3,1418
Carbonate de chaux	91,5190
	100,0000

Un kilogramme de ce calcaire contient 14,102 gr. de phosphate de chaux. 6,31 de carbonate de potasse, et 31,41 de carbonate de soude.

Tous ces massifs des terrains jurassiques et triasiques sont des dépôts marins : les animaux de ces mers, mollusques coquilliers, anthozoaires, échinodermes, bryozoaires, y ont laissé leur phosphate de chaux. Les chlorures de sodium et de potassium primitivement contenus dans les mers existant alors, furent par la suite des temps, au contact avec le carbonate de chaux, transformés en carbonates alcalins. qui sont restés par adhésion physique ou moléculaire, en combinaison avec le calcaire.

Le chlorure de calcium produit par ce double échange a disparu par les eaux de lavage, soit dans les profondeurs de la terre ou bien a coulé dans les bassins maritimes actuels.

Autre analyse d'un calcaire du mont Salève.

N° 22. — 9,42 grammes de ce second calcaire du Salève, finement pulvérisé et desséché, furent traités par 9,42 gr. d'acide nitrique pur (densité = 1,315). Je les laissai en digestion pendant 72 heures, ensuite je jetai la dissolution sur un double filtre pesé, je lavai à l'eau

distillée le résidu qui fut séché à 100° C. et pesé, j'obtins ainsi 5,8545 gr. en calcaire non dissous à cause de l'insuffisante quantité d'acide. Ce qui donne 62,149 pour cent. Ces 5,8545 analysés me fournirent :

Phosphate tricalcique	0,02678 = 0,012267 PhO^5
Carbonate de potasse.	0,03774
Carbonate de soude.........	0,07204
Carbonate de magnésie......	0,02407
Carbonate de chaux	5,68737
Crabonate de protoxyde de fer,	0,00650
Grammes	5,85450

N° 23. — La dissolution nitrique du calcaire, avec les eaux de lavage du résidu précédent, analysée me donna :

Chaux .... gr.	1,83647
Acide phosphorique...	0,00805
Magnésie..........	0,01098
Oxyde ferreux.......	0,01561 = 0,01734, oxyde ferrique.
Soude.............	0,03172
Potasse............	0,01589
	1,91872

Mais l'acide phosphorique était combiné à la chaux, et le reste des bases à l'acide carbonique, d'où nous tirons :

Phosphate tricalcique.....	0,01758
Carbonate potassique	0,02332
Carbonate sodique........	0,05423
Carbonate magnésique	0,02307
Carbonate calcique	3,27797
Carbonate ferreux........	0,02554
Grammes	3,42171

qui furent dissous par les 9,42 gr. d'acide nitrique.

Ce qui donne un poids total de grammes :

	5,8545	résidu,
	3,42171	dissous,
	9,27621	
	0,14379	perte,
Poids du calcaire employé..	9,42000	

Les 5,8545 gr. résidu réduits en 100 parties donnent :

Phosphate de chaux	0,45744
Carbonate de potasse	0,64474
Carbonate de soude...........	1,22989
Carbonate de magnésie........	0,41123
Carbonate de chaux	97,14558
Carbonate de protoxyde de fer...	0,11112
	100,00000

Et les 3,42171 gr. dissous, réduits en 100 parties, donnent :

Phosphate de chaux...........	0,51239
Carbonate de potasse	0,68257
Carbonate de soude...........	1,58047
Carbonate de magnésie........	0,67235
Carbonate de chaux	93,80789
Carbonate de protoxyde de fer ..	0,74433
	100,00000

Mon but, en faisant ces opérations, était de savoir s'il ne serait pas possible d'augmenter la proportion de phosphate de chaux dans le calcaire; espérant que la chaux carbonatée serait attaquée préférablement au phosphate calcique, par l'acide nitrique insuffisant, et qu'alors tout le phosphate calcaire resterait dans le résidu qui deviendrait ainsi un engrais plus énergique. On voit que l'analyse a répondu dans un sens inverse, dans l'hypothèse de parties égales de calcaire et d'acide nitrique; car j'ai

constaté dans la dissolution des quantités proportionnelles plus grandes de phosphate de chaux, d'oxyde de fer, de magnésie et d'alcalis, et une quantité proportionnelle moindre de chaux; c'est donc la dissolution nitrique qui deviendrait plus puissante comme engrais que le résidu.

En effet 10 kilog. de substance dissoute par l'acide nitrique ayant agi sur son poids de calcaire du Salève, contiennent :

Acide phosphorique.... gr.	23,46
Potasse	46,33
Soude	92,44
Magnésie	32,01
Sesquioxyde de fer.......	51,33=46,197 de FeO,
Chaux................	5365,24
	5610,81

Et 10 kilogrammes de résidu calcaire non dissous par l'acide nitrique ayant agi sur son poids de calcaire du Salève, contiennent :

Acide phosphorique .. gr.	20,95
Potasse...............	43,94
Soude................	71,93
Magnésie	19,58
Sesquioxyde de fer......	7,66=6,89 FeO,
Chaux	5412,18
	5606,24

N° 24. — Voici du reste la composition centésimale de ce second calcaire du Salève, qui a servi à ces dernières expériences; desséché il m'a fourni en 100 parties :

Phosphate tricalcique	0,4709
Carbonate potassique	0,6481
Carbonate sodique.........	1,3404
Carbonate magnésique	0,5004
Carbonate ferreux, ...	0,3401
Carbonate calcique.........	95,1734
Perte	1,5267
	100,0000

On voit que sa composition proportionnelle des mêmes substances est bien différente de celle que j'ai constatée dans le premier échantillon ; il n'y a de presque identique que la proportion de carbonate de potasse.

N° 25. — Roches servant d'engrais au blé d'hiver. *Triticum sativum var. hybernum.*

Le 15 mars 1867 j'ai semé sur $\frac{1}{5}$ de centiare d'un terrain qui n'avait jamais été fumé, 9.42 gr. de blé d'été. Le 14 octobre suivant récolté :

Blé	gr.	24,71
Paille et glumes	»	95,756

Rapport de la semence au blé récolté		1 : 1,9539
Idem,	idem, à la paille et aux glumes	1 : 7,819

N° 26. — Le 15 mars 1867, j'ai répandu sur $\frac{1}{5}$ de centiare d'un terrain non précédemment fumé, 40 gr. du calcaire analysé sous le N° 10, dissous dans 10 grammes SO^3HO et 30 gr. ClH, plus 1 litre d'eau. Deux jours après on y sema 9,42 gr. de blé d'été. En octobre on récolta :

Blé	gr.	47,182
Paille et glumes	»	95,756

Rapport de la semence au blé récolté		1 : 3,852
Idem,	idem, à la paille et aux glumes	1 : 7,819

N° 27. — Sur le terrain précédent n° 26, sans y ajouter d'engrais cette fois, semé en automne 1867. 9,42 gr. blé d'hiver, récolté en juillet 1868 :

Blé d'hiver	gr.	108,478
Paille	»	161,23
Glumes	»	30,25

Rapport de la semence au blé récolté		1 : 11,526
Idem,	idem, à la paille	1 : 17,11
Idem,	idem, aux glumes	1 : 3,2

N° 28. — Sur le terrain n° 27 sans y ajouter d'engrais, semé en automne 1868, 9,42 gr. blé d'hiver, récolté en juillet 1869 :

Blé d'hiver	gr.	44,274
Paille..........	»	148,984
Glumes.........	»	22,608

Rapport de la semence au blé récolté...	1	:	4,7
Idem, idem, à la paille......	1	:	15,92
Idem, idem, aux glumes	1	:	2,4

N° 29. — Sur $\frac{1}{5}$ de centiare d'un terrain non précédemment fumé, j'ai répandu en octobre 1867, 40 gr. du calcaire analysé sous le n° 10 pulvérisé, et peu de temps après semé 9,42 gr. blé d'hiver, récolté en juillet 1868 :

Blé d'hiver......	gr.	79
Paille..........	»	142
Glumes	»	26,376

Rapport de la semence au blé récolté...	1	:	8 38
Idem, idem, à la paille......	1	.	15,07
Idem, idem, aux glumes.....	1	:	2,8

N° 30. — Sur le terrain précédent n° 29, sans y ajouter d'engrais, semé en automne 1868, 9,42 blé d'hiver, récolté le 29 juillet 1869 :

Blé d'hiver......	gr.	21,666
Paille..........	»	144,274
Glumes	»	15,072

Rapport de la semence au blé récolté...	1	:	2,3
Idem, idem, à la paille......	1	:	15,315
Idem, idem, aux glumes.....	1	:	1,706

N° 31. — Dans $\frac{1}{5}$ de centiare de terrain non précédemment fumé, incorporé en octobre 1867 20 gr. chaux vive

sèche pulvérisée, analysée sous le n° 12, 20 gr. de poudre du porphyre de Schirmeck analysée sous le n° 1, 6,80 gr. de nitrate de potasse, mélangés ensemble et semé peu après 9.42 gr. blé d'hiver, récolté en juillet 1868 :

Blé d'hiver......	gr.	83,47
Paille..........	»	157,95
Glumes........	»	30,144

Rapport de la semence au blé récolté...	1	:	8,86
Idem, idem, à la paille......	1	:	16,76
Idem, idem, aux glumes.....	1	:	3,2

N° 32. — Sur le terrain précédent n° 31, sans y ajouter d'engrais, semé en automne 1868. 9.42 blé d'hiver, récolté en juillet 1869 :

Blé d'hiver......	gr.	40,506
Paille..........	»	157,462
Glumes.........	»	28,26

Rapport de la semence au blé récolté...	1	:	4,3
Idem, idem, à la paille......	1	:	16,715
Idem, idem, aux glumes....	1	:	3,0

N° 33. — Incorporé en automne 1867 à $\frac{1}{5}$ de centiare de terrain non précédemment fumé, 40 grammes de chaux sèche analysée sous le n° 12, pulvérisée et mélangée à 6.80 gr. de nitrate de potasse, sur lequel terrain on sema peu après 9.42 gr. blé d'hiver. Récolté en juillet 1868 :

Blé d'hiver......	gr.	72,534
Paille.........	»	134,42
Glumes........	»	23,55

Rapport de la semence au blé récolté...	1	:	7,7
Idem, idem, à la paille......	1	:	14,268
Idem, idem, aux glumes.....	1	:	2,489

N° 34. — Sur le terrain précédent n° 33, sans y ajouter d'engrais, j'ai semé en automne 1868, blé d'hiver 9,42 gr. Récolté en juillet 1869 :

Blé d'hiver......	gr.	36,738
Paille..........	»	136,738
Glumes.........	»	24,963

Rapport de la semence au blé récolté...	1	:	3,9
Idem, idem, à la paille......	1	:	14,51
Idem, idem, aux glumes.....	1	:	2,65

N° 35. — Incorporé à $\frac{1}{5}$ de centiare de terrain non précédemment fumé, en automne 1867, chaux vive pulvérisée, sèche, analysée sous le n° 12, 40 gr. et un jour après, semé sur ce terrain 9,42 de blé d'hiver. Récolté en juillet 1868 :

Blé d'hiver......	gr.	73,95
Paille	»	130,15
Glumes.........	»	26,376

Rapport de la semence au blé récolté....	1	:	7,85
Idem, idem, à la paille......	1	:	13,81
Idem, idem, aux glumes.....	1	:	2,80

N° 36. — Sur le terrain précédent n° 35, sans y ajouter d'engrais, j'ai semé le 18 octobre 1868, 9,42 gr. de blé d'hiver. Récolté en juillet 1869 :

Blé d'hiver......	gr.	33,912
Paille	»	151,81
Glumes	»	30,144

Rapport de la semence au blé récolté...	1	:	3,6
Idem, idem, à la paille......	1	:	16,11
Idem, idem, aux glumes	1	:	3,2

N° 37. — J'ai incorporé à $\frac{1}{5}$ de centiare d'un terrain non précédemment fumé, en octobre 1867, 40 gr. du

calcaire pulvérisé, analysé sous le n° 10, mélangé à 6,80 gr. de nitrate de potasse ; et peu de temps après semé dessus 9,42 gr. blé d'hiver. Récolté en juillet 1868 :

Blé d'hiver......	gr.	125,42
Paille..........	»	204,71
Glumes.........	»	39,56

Rapport de la semence au blé récolté...			1	:	13,31
Idem,	idem,	à la paille	1	:	21,73
Idem,	idem,	aux glumes	1	:	4,198

N° 38. — Sur le terrain précédent n° 37, sans y ajouter d'engrais, semé le 18 octobre 1868, 9,42 gr. blé d'hiver. Récolté en juillet 1869 :

Blé d'hiver......	gr.	39,093
Paille..........	»	274,418
Glumes.........	»	45,216

Rapport de la semence au blé récolté ...			1	:	4,15
Idem,	idem,	à la paille......	1	:	29,14
Idem,	idem,	aux glumes.....	1	:	4,8

Les résultats agricoles précédents me semblent militer en faveur de l'action favorable des calcaires et roches phosphoriphères, sur la végétation du blé. Je le sais, il faudra avant de conclure définitivement, expérimenter sur une grande échelle et résoudre le problème de la pulvérisation industrielle des roches qui devront être répandues sur les terrains ; mais il me paraît impossible que les immenses quantités de phosphate de chaux et de phosphate d'oxyde de fer renfermés dans les porphyres, grauwackes métamorphiques, calcaires des terrains jurassiques et triasiques, restes d'une ancienne vie organique, puissent être perdues dorénavant pour l'agriculture ; maintenant que j'ai constaté leur richesse en

phosphates et en alcalis, ces deux puissants leviers de la vie végétale, surtout quand les expériences sur la végétation du blé que je viens de relater, nous démontrent avec évidence, l'influence bienfaisante des roches en question.

Parmi les expériences ci-dessus, je remarque celle du calcaire pulvérisé mêlé au salpêtre ; c'est là une riche mine de chaux, d'acide carbonique, d'azote, d'alcalis et d'une quantité suffisante de phosphate de chaux ; le produit de la récolte est abondant la 1re année et la 2e année, et le prix de l'engrais n'est pas élevé. Il appartient aux agriculteurs de profession d'apprécier ces premiers résultats obtenus.

NOTE

SUR

UNE RELATION SIMPLE ET PRATIQUE

ENTRE

LA PRESSION DE LA VAPEUR AQUEUSE ET LA TEMPÉRATURE

PAR

J.-G. DUPERRAY.

La loi naturelle qui lie la pression des vapeurs à la température est encore inconnue. Dalton avait posé en principe, que la tension croît en progression géométrique lorsque la température croît en progression arithmétique. Mais cette loi générale s'éloigne beaucoup de la vérité. Roche, mathématicien de Montpellier, a trouvé théoriquement la formule $f = a\alpha^{\frac{t}{1+mt}}$ qui concorde avec les observations. Mais elle ne peut être considérée comme la loi naturelle, la relation de cause à effet qui régit le phénomène, dans le sens du mot prophétique : *Omnia in mensurâ et numero et pondere disposuisti;* puisqu'elle renferme des constantes dont la détermination exige la connaissance des tensions répondant à certaines températures.

La difficulté du problème tient sans doute à une connaissance imparfaite des lois générales de la chaleur, mais aussi, et surtout, à la définition arbitraire, empirique, de la température, laquelle est probablement sans liaison nécessaire avec les quantités de chaleur correspondantes.

Aussi les physiciens, renonçant à s'occuper du problème général, et se bornant au cas de la vapeur aqueuse, ne prétendent, jusqu'à nouvel ordre, qu'à trouver des formules d'interpolation plus ou moins exactes. Telles sont la formule d'Young, $f=(a+bt)^m$, dont celle de Dulong, $f=(1+0{,}7153\,t)^5$ n'est qu'une forme particulière; les formules à deux exponentielles, telles que celle de Biot, log. $f=a+b\alpha^t+c\beta^t$, etc.

Toutes ces formules ont l'inconvénient de manquer de simplicité pratique. Le calcul des machines à vapeur réclamerait une relation où la tension fût une fonction simple de la température et réciproquement. Une extrême simplicité rachèterait suffisamment, aux yeux des praticiens, l'inexactitude de la loi. On comprend, en effet, qu'une erreur relative de quelques centièmes serait noyée dans l'énorme écart qui existe toujours entre le travail utile théorique et le rendement vrai des machines à vapeur : sans parler de la discordance inévitable entre les instruments destinés à mesurer la température.

C'est en vue de ces nécessités pratiques que j'ai cherché une formule d'interpolation qui m'a conduit, en négligeant les termes inférieurs, à la loi suivante : *La pression de la vapeur aqueuse, au-dessus d'une atmosphère, est sensiblement proportionnelle à la quatrième puissance de la température.*

A l'appui de cette proposition, j'ai calculé avec sept chiffres, le rapport de la tension en millimètres de mercure, à la quatrième puissance de la température, évaluée en degrés du thermomètre à air, en prenant pour unité l'intervalle de cent degrés, et cela pour tous les degrés de 100 à 230 centigrades : en adoptant, pour faciliter la

comparaison, la table interpolée de M. Regnault qui fait loi sur la matière, soit parce qu'elle est la plus récente, soit surtout pour l'habileté incontestée de son auteur. J'ai reconnu que ce rapport oscille autour d'une moyenne de 723,8205 dont il s'éloigne peu, sous réserve de cet écart, on a les relations suivantes :

$$f=723{,}8205t^4,\ f=0{,}9523954t^4,\ f=0{,}9841013t^4,$$

selon que la tension est exprimée en millimètres, en atmosphères ou en kilogrammes par centimètre carré. L'erreur relative s'élève en plus aux 5 centièmes (à 100°), en moins aux 2 centièmes et un tiers (à 145°) de la pression vraie.

Pour faciliter la comparaison entre la table de M. Regnault et les résultats que donne la formule, j'ai réduit les pressions de la table en atmosphères, et j'ai calculé celles que fournit la seconde des trois formules; ainsi que l'erreur absolue et l'erreur relative correspondantes.

Le tableau qui suit est extrait du travail complet : dans cet aperçu, qui ne contient les températures que de dix en dix degrés, je supprime le détail du calcul logarithmique, ainsi que la colonne des différences absolues, moins importantes au point de vue pratique que les erreurs relatives. La première colonne contient la température; la seconde, la pression en millimètres selon M. Regnault : la troisième, le rapport de cette pression à la quatrième puissance de la température; la quatrième, la pression en atmosphères selon M. Regnault; la cinquième, la pression en atmosphères selon la formule; la sixième, enfin, la différence rapportée à la pression exacte et exprimée en millièmes de celle-ci :

Température.	Pression.	Rapport.	Pression R.	Pression nouv.	Erreur.
1,00	760	760	1	0,952	—48
1,10	1075,37	734,4920	1,415	1,394	—15
1,20	1491,28	719,1743	1,962	1,975	+ 7
1,30	2030.28	710,8573	2,671	2,720	+18
1,40	2717,63	707.4213	3,576	3,659	+23
1,50	3581.23	707.4035	4.712	4,821	+23
1,60	4651,62	709,7810	6,121	6,242	+20
1,70	5961,66	713,7918	7,844	7.954	+14
1,80	7546,39	718,8680	9,929	9,998	+ 7
1,90	9442,70	724.5725	12.425	12,412	— 1
2,00	11688,96	730,5600	15,380	15,239	— 9
2,10	14324,80	736,5653	18,848	18,522	—17
2,20	17390,36	742,3657	22,882	22,310	—25
2,30	20926,40	747.7959	27,535	26.652	—32

Pour compléter la comparaison, j'ai calculé, dans les deux systèmes, les températures répondant aux atmosphères de 1 à 27, en y joignant les demi-atmosphères jusqu'à 10. L'extrait suivant montre que l'erreur ne s'élève jamais à 2 degrés, en sorte qu'elle est inférieure au centième de la température.

La première colonne contient la pression ; la seconde, la température selon M. Regnault ; la troisième, la température selon la formule ; la quatrième, enfin, l'erreur relative en millièmes de la température exacte :

Pression.	Température R.	Température nouv.	Erreur.
atm.	o	o	
1	100	101,23	+12
2	120,60	120,38	— 2
3	133,91	133,22	— 5
4	144,00	143,15	— 6
5	152,22	151,37	— 6
6	159,22	158,43	— 5
7	165,34	164,65	— 4
8	170,81	170,24	— 3
9	175,77	175,33	— 3
10	180,30	180,01	— 2
15	198,80	199,21	+ 2
20	213,01	214,07	+ 5
25	224,71	226,35	+ 7

Enfin, j'ai tracé la courbe des pressions dans les deux systèmes, à l'échelle de 5 millimètres pour un degré, et de 25 millimètres pour une atmosphère. Les deux courbes se coupent à 116° $^1/_5$ et à 188° $^3/_4$. Elles se confondent presque entre ces deux points, et ne s'écartent sensiblement qu'aux plus hautes pressions.

La formule $f = 0{,}9841013\, t^4$ diffère peu de $f = t^4$, expression commode pour déduire mentalement la pression de la température dans les cas simples. L'erreur relative en plus se réduit alors à moins de 3 $^1/_5$ pour cent, l'erreur en moins s'élève à moins de 4 pour cent. Ainsi, *la pression en kilogrammes, par centimètre carré, est sensiblement égale à la quatrième puissance de la température.* Exemple : la pression à 200° serait la quatrième puissance de 2 ou 16 kilogrammes. La pression exacte est 15^{atm},380, soit 15^{kil},892. L'erreur est de 108 gr., soit la150^{e} partie de la valeur exacte.

Si l'on s'en tenait aux pressions pratiques, limitées dans les cas exceptionnels entre une atmosphère et demie et douze atmosphères, dans les cas ordinaires entre deux atmosphères et demie et huit atmosphères, on obtiendrait, en calculant le coefficient moyen dans ces limites, des formules beaucoup plus approchées de l'exactitude, savoir :

1° Entre 1 $^1/_2$ atmosphère et 12, soit entre 110 et 190°,

$$f=714{,}5251\ t^4,\ f=0{,}9401646\ t^4,\ f=0{,}9714633\ t^4,$$

avec une erreur relative variant entre +2 et $^3/_4$ p. cent (à 110°) et —1 p. cent (à 145°).

2° Entre 2 $^1/_2$ atmosphères et 8, soit entre 125 et 175°,

$$f=710{,}0639\ t^4,\ f=0{,}9342946\ t^4,\ f=0{,}9653979\ t^4,$$

avec une erreur relative de moins de un p. cent.

BULLETIN SCIENTIFIQUE.

PHYSIQUE.

Analyse spectrale de la lumière de l'aurore boréale.

M. Angström d'Upsal a trouvé le premier que la lumière de l'Aurore boréale ne donne qu'une seule ligne verte dans le spectre. M. Struve avait constaté en 1869 à Pulkowa l'exactitude de cette observation [1]. M. Zöllner à Leipzig a réussi à trouver, en observant par un ciel très-découvert la magnifique Aurore boréale du 24 octobre dernier, outre la ligne verte déjà signalée, une ligne très-prononcée dans le rouge. M. J. Browning en Angleterre a fait la même observation sur la lumière des Aurores boréales des 24 et 25 octobre [2]. En dirigeant le spectroscope seulement sur la partie la plus brillante de la lumière de l'Aurore qui est d'un blanc d'argent, il n'a trouvé qu'une seule ligne brillante, mais en dirigeant son instrument sur la partie rouge, il y a découvert une ligne brillante très-prononcée. Outre ces deux lignes principales, M. Browning a cru en apercevoir d'autres, l'une dans la partie rouge, l'autre dans la partie bleue du météore lumineux. Il ajoute que la couleur de la lumière de l'Aurore qui était répandue sur la plus grande partie du ciel, ressemblait tout à fait à celle de la décharge d'une bobine d'induction à travers de l'air atmosphérique raréfié.

Ajoutons, puisque nous parlons d'Aurores boréales, que celle du 24 octobre a été observée dans l'hémisphère sud en Australie, et qu'elle y a été, comme dans l'hémisphère nord, d'une intensité remarquable, observation qui confirme la coïncidence déjà signalée des Aurores australes et boréales. Il serait intéressant d'avoir plus de détails sur l'apparence de cette Aurore australe et sur les effets magnétiques et élec-

[1] *Archives des Sciences phys. et natur.*, tome XXXV, p. 285.

[2] *Philos. Magaz.*, janvier 1871, page 79.

triques qui ont dû accompagner son apparition. Espérons que les résultats des observations qui auront sûrement été faites à Hobarton parviendront bientôt en Europe ; nous nous empresserons, dès que nous pourrons les obtenir, de les communiquer à nos lecteurs. A. D. L. R.

C. CHRISTIANSEN. DISPERSION PRODUITE PAR UNE SOLUTION ALCOOLIQUE DE FUCHSINE. (*Pogg. Ann.*, tome CXLI, p. 479.)

M. Christiansen, de Copenhague, annonce en deux mots seulement les résultats, assurément fort curieux, qu'il a obtenus en étudiant la réfraction que les divers rayons subissent lors de leur passage dans une solution concentrée de fuchsine ou d'aniléine rouge dans de l'alcool.

Voici les indices de réfraction que lui a donnés pour les différentes raies de Fraunhofer une solution renfermant 18,8 parties d'aniléine :

Lignes de Fraunhofer.	Indices de réfraction.
B (rouge).............	1,450
C (rouge-orangé).......	1,502
D (jaune)..............	1,561
F (bleu)...............	1,312
G (indigo).............	1,285
H (violet).............	1,312

L'indice de réfraction croît de B à D et même un peu au delà, décroît ensuite très-rapidement jusqu'à G et augmente de nouveau à partir de cette raie. Il suit de là que si l'on forme avec cette solution un prisme d'un angle très-aigu, et que l'on reçoive à travers ce prisme un faisceau très-étroit de lumière, le spectre produit présentera à la partie la moins réfractée le violet, puis le rouge, enfin le jaune qui est le plus réfracté. Ces faits intéressants sont, de la part de M. Christiansen, l'objet d'une étude approfondie qui sera publiée, nous l'espérons, sous peu et dont nous rendrons compte en son temps. E. S.

A. Kundt. Ueber die anomale..... Dispersion anormale des substances a couleurs superficielles. (Wurtzbourg, le 6 janvier 1871, brochure.)

Dans les corps transparents la vitesse de la lumière est plus petite que dans le vide, de plus, l'indice de réfraction au passage du vide dans un corps transparent est plus grand pour la radiation dont la longueur d'onde est la plus petite (rayons violets) que pour les autres. Ce fait ne paraît pas se réaliser pour les métaux; il semble du moins ressortir des observations faites sur la polarisation elliptique de la lumière réfléchie par les surfaces métalliques, que dans la plupart des métaux la dispersion est inverse de ce qu'elle est dans les corps transparents, et que les rayons qui présentent la plus petite longueur d'onde sont moins réfractés par cette classe de corps que les autres. C'est là un point fort obscur de l'optique que les expériences de M. Jamin et M. Quincke n'ont point réussi à éclaircir.

M. Kundt avait entrepris, depuis un certain temps déjà, l'étude de cette importante question, en opérant, sur une classe de corps intermédiaire entre les métaux et les corps transparents, à savoir sur les *substances à couleurs superficielles;* ces substances, telles que les couleurs d'aniline, l'indigo, le carmin, le permanganate de potasse, etc., sont pour la plupart des matières colorantes transparentes, seulement sous une très-faible épaisseur; elles réfléchissent la lumière en prenant un éclat métallique, et les couleurs réfléchies sont complémentaires, ou à très-peu près, de celles qu'elles donnent par transparence.

Les résultats obtenus jusqu'ici par M. Kundt, quoique encore incomplets, présentent un grand intérêt, surtout si on les rapproche de l'observation de M. Christiansen [1] et de celle de M. Leroux qui avait annoncé que la vapeur d'iode dévie les rayons rouges plus que les rayons bleus.

[1] Voir plus haut, page 187.

Nous nous bornerons à l'énoncé succinct des résultats auxquels M. Kundt a été conduit.

En amenant une goutte de la dissolution concentrée d'une substance dichroïque, sur laquelle il s'agit d'opérer, dans l'angle dièdre formé par deux plaques de verre appliquées l'une contre l'autre par leur tranche et formant un angle de 25° environ, on obtient un prisme capillaire de liquide, puis on observe la dispersion produite par ce prisme liquide, en visant à travers sur une fente vivement éclairée. En opérant de la sorte, M. Kundt a reconnu que presque toutes les substances à couleurs superficielles soumises à l'expérience sous forme de dissolution, donnent une dispersion anormale, c'est-à-dire qu'elles dispersent les couleurs dans un ordre différent de celui dans lequel les donne le spectre. Il a constaté le pénomène, sur la fuchsine (comme M. Christiansen), sur le bleu, le violet et le vert d'aniléine, l'indigo, le carmin, la cyanine, l'hypermanganate de potasse, etc...... Toutes ces substances réfractent les rayons rouges plus fortement que les bleus; ceux de ces corps qui donnent par réflexion une couleur verte, donnent un spectre dans lequel la couleur verte est la moins déviée.

La cyanine, le violet et le bleu d'aniline, ainsi que l'indigo-carmin, donnent un spectre dans lequel les couleurs se présentent comme suit, à partir de la portion la moins réfrangible : vert, bleu, rouge. Dans des conditions favorables d'expérience, la cyanine donne un spectre composé de vert, de bleu clair, de bleu foncé, puis d'un espace obscur au delà duquel, dans la partie la plus réfrangible du spectre, se trouve du rouge d'abord, et même un peu d'orangé.

Ces substances n'ont pu encore être étudiées qu'à l'état de dissolution, l'effet est alors la résultante des dispersions de la substance elle-même et du dissolvant; à l'état solide, ils donneraient peut-être un renversement total. Un grand nombre d'autres substances doivent présenter la même propriété à un moindre degré. M. Kundt se propose de reprendre

cette étude par la méthode de M. Christiansen, en mesurant directement les indices de réfraction des différentes raies du spectre. E. S.

ZOOLOGIE, ANATOMIE ET PALÉONTOLOGIE.

E. HERING. UEBER DAS GEDÆCHTNISS..... SUR LA MÉMOIRE CONSIDÉRÉE COMME ATTRIBUT DE LA MATIÈRE ORGANISÉE. (Notice publiée à Vienne en 1870.)

Lorsqu'une étude sérieuse est faite sans parti pris, avec conscience, que l'exposé en est clair et précis, on éprouve une grande jouissance à la lecture de l'ouvrage qui la dévéloppe et on désire le faire connaître. Telles sont les qualités du travail de M. Hering sur la mémoire.

Dans un opuscule, qui n'a d'autre tort que sa trop grande brièveté, ce savant distingué établit les rapports constants qui existent entre les organes cérébraux des différents êtres et le degré des facultés mentales dont ils disposent ; il considère spécialement les phénomènes de mémoire, et attire l'attention sur un fait important, c'est la méthode à suivre dans la recherche physiologique des attributs intellectuels. Si le physiologiste, dit-il, veut travailler comme le physicien, il doit s'attacher à déterminer les conditions des phénomènes de l'âme, qui sont indispensables pour qu'ils puissent prendre naissance ; il doit par conséquent s'attendre à trouver une vie intellectuelle semblable dans deux organismes identiques, ce qui implique une concomitance complète entre une modification dans les centres nerveux et les phénomènes de la vie spirituelle.

Comme on le voit, M. Hering ne cherche pas à faire de la philosophie, il applique dans toute sa rigueur la vraie méthode d'analyse qui convient aussi bien à une étude physiologique que physique.

Ces préliminaires une fois établis, il passe à la mémoire et montre comment elle peut se manifester, tantôt d'une ma-

nière consciente, obéissant dans ce cas à la volonté, tantôt d'une manière tout inconsciente et imprévue, amenant dans le courant des pensées des souvenirs lointains auxquels on n'avait pas songé depuis longtemps et qui semblaient tout à fait oubliés. Ici c'est un épisode d'histoire qui nous revient tout à coup, là c'est une mélodie, qu'en vain on cherchait à se rappeler et qui spontanément résonne à nos oreilles. De tous ces faits groupés ensemble découle une loi capitale, c'est que toute modification cérébrale, causée par les agents extérieurs, se conserve durant un laps de temps variable suivant les cas, mais que la durée de cette modification est en rapport avec la durée de la mémoire. Les cas de pathologie s'accordent entièrement avec cette manière de voir.

Ainsi le physiologiste, considérant la mémoire uniquement au point de vue de l'observation directe, peut la regarder comme une propriété de l'organisation interne du cerveau.

Cette organisation spéciale, pour s'accentuer chez l'individu, réclame comme condition essentielle l'exercice.

Une personne qui commence à étudier le piano, par exemple, éprouve une peine très-grande à interpréter sur l'instrumeut la musique qu'elle lit. Les mouvements musculaires des doigts correspondant à la position de chaque note, exigent une attention soutenue; mais plus tard, après quelques années, cette difficulté est vaincue et les phénomènes de mémoire ont pris une si grande énergie que toute fatigue disparaît; l'artiste ne se doute même plus de la complexité inouïe des mouvements qu'il exécute, la mémoire est devenue *inconsciente*.

C'est grâce à cette faculté que l'ensemble de toutes les sensations que nous recevons du dehors, se présente à nous sous la forme de ce qu'on appelle *le monde extérieur*, qui est en somme *le monde du souvenir*.

Quant au développement de la mémoire, il suivrait, d'après M. Hering, les mêmes lois que le développement des organes du corps et spécialement les muscles. Plus un

membre est employé à un usage déterminé, plus il prend de force et se prête mieux à la fonction qu'on lui fait remplir. Ces modifications, apportées par l'individu dans sa structure organique, sont en partie héréditaires; leurs caractères s'accusent d'autant plus chez les descendants que la série de la filiation est longue et que chaque individu a été placé dans des conditions analogues. Nous arrivons par ces considérations à l'explication de l'*instinct* qui ne serait que la *mémoire héréditaire.*

Pour bien faire comprendre son idée, M. Hering emploie une comparaison des plus heureuses, il suppose que l'on casse en petits morceaux ces milliers de courbes géométriques définies par des équations connues; tous ces petits morceaux se ressemblent au moins autant que deux graines de plantes, ou deux embryons d'animaux, et pourtant chacun, dans sa nature intime, contient l'équation, c'est-à-dire le plan de son développement. Le descendant d'un être quelconque continue la courbe commencée par le père et subit par contre-coup toutes les modifications éprouvées par ses ancêtres.

Le petit poulet qui sort de sa coquille et se met immédiatement à courir et à manger n'a rien appris dans sa prison! Qu'est-ce? sinon la mémoire transmise de père en fils.

L'abeille, les oiseaux et en somme tous les animaux, par leurs instincts naturels, nous montrent l'accord de cette grande théorie avec les faits.

Plus les descendants seront dans des positions semblables à celles des ancêtres, moins il y aura de divergence dans les représentants de l'espèce: plus au contraire chaque individu aura une vie indépendante, plus aussi les caractères de la mémoire, c'est-à-dire les instincts, s'amoindriront et perdront de leur puissance.

Telles sont les considérations générales que M. Hering a exposées et développées avec un rare talent. R. P.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES A L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

sous la direction de

M. le prof. E. PLANTAMOUR

Pendant le mois de JANVIER 1871.

Le 1, brouillard tout le jour.
6, neige le matin ; hauteur de la neige tombée 105mm.
7, brouillard le matin, givre.
8, neige dans la nuit, hauteur 25mm.
9, id. id. 3mm.
11, l'après-midi la bise s'élève avec violence, et dure toute la journée du 12 et du 13.
15, brouillard le soir, givre.
16, brouillard le matin, givre.
17, forte pluie toute la journée, qui se change en neige tard dans la soirée.
18, hauteur de la neige tombée dans la nuit 55mm.
19, id. id. 130mm.
21, brouillard le matin et le soir, givre.
22, neige le matin, hauteur 13mm ; brouillard le soir.
23, neige tombée pendant la nuit 8mm ; brouillard une grande partie de la journée.
24, neige dans la soirée et jusqu'à midi le lendemain, 72mm.

Valeurs extrêmes de la pression atmosphérique.

MAXIMUM.	mm
Le 6 à 8 h. soir	732,60
10 à 10 h. matin	719,62
14 à 10 h. matin	728,32
18 à 4 h. après m.	716,10
23 à 10 h. soir	726,26
31 à 10 h. soir	733,80

MINIMUM.	mm
Le 4 à 6 h. matin	723,98
9 à 6 h. soir	711,06
11 à midi	711,55
17 à 6 h. matin	712,70
19 à 6 h. matin	711,99
26 à 2 h. après m.	719,07

GENÈVE. — JANVIER 1871.

Jours du mois.	Baromètre. Hauteur moy. des 24 h.	Baromètre. Écart avec la hauteur normale	Température C. Moyenne des 24 heures	Température C. Écart avec la temp. normale.	Température C. Minim.	Température C. Maxim.	Tension de la vap. Moy. des 24 h.	Tension de la vap. Écart avec la tension normale.	Fract. de saturation en millièmes. Moy. des 24 h.	Fract. de saturation Écart avec la fraction norm.	Fract. de saturation Minim.	Fract. de saturation Maxim.	Pluie ou neige. Eau tomb. d. les 24 h.	Pluie ou neige. Nomb. d'h.	Vent dominant.	Clarté moy. du Ciel.	Temp. du Rhône. Midi.	Temp. du Rhône. Écart avec la temp. normale.	Limnimètre à 11 h.
	millim.	millim.	0	0	0	0	millim.	millim.					mm.				0	0	cm.
1	726,04	— 1,84	— 6,60	—6,24	— 7,1	— 5,2	2,41	—1,62	895	+ 23	840	940	...	...	O. 1	1,00	—	—	124
2	725,63	— 2,25	— 8,21	—7,82	—11,2	— 2,8	2,24	—1,79	915	+ 45	810	970	...	...	S. 1	0,84	3,0	— 2,4	123
3	725,30	— 2,57	— 5,78	—5,36	— 7,5	— 2,8	2,69	—1,34	918	+ 47	850	960	...	...	variable	0,99	3,1	— 2,3	122
4	724,61	— 3,26	— 5,26	—4,82	— 8,1	— 3,0	2,82	—1,22	913	+ 42	860	980	...	...	SO. 1	0,98	3,1	— 2,2	121
5	728,35	+ 0,49	— 6,07	—5,61	— 9,0	— 4,0	2,60	—1,44	916	+ 45	880	930	...	...	SO. 1	0,96	3,2	— 2,1	120
6	730,34	+ 2,48	— 1,91	—1,43	— 7,0	— 2,7	3,79	—0,25	921	+ 50	810	990	4,5	7	SSO. 1	0,88	3,3	— 2,0	120
7	729,16	+ 1,31	— 3,89	—3,39	—10,0	+ 0,2	3,21	—0,84	903	+ 32	780	1000	...	...	SO. 1	0,90	2,8	— 2,4	119
8	720,64	— 7,21	+ 0,73	+1,25	— 5,0	+ 7,3	3,86	—0,19	786	— 85	590	940	1,1	2	SO. 1	0,64	—	—	118
9	713,88	—13,96	— 1,13	—0,60	— 3,2	+ 3,0	3,60	—0,46	854	— 17	710	970	0,2	1	variable	0,90	3,9	— 1,2	117
10	718,82	— 9,02	— 2,35	—1,82	— 6,1	+ 0,4	3,13	—0,94	815	— 56	730	930	...	...	NNE. 2	0,53	3,7	— 1,4	116
11	712,27	—15,56	— 4,74	—4,21	— 8,1	— 3,0	2,56	—1,52	792	— 78	710	900	...	...	NNE. 3	0,93	3,6	— 1,7	115
12	720,30	— 7,53	— 3,45	—2,92	— 5,0	— 2,2	2,85	—1,24	809	— 61	750	870	...	...	NNE. 3	0,67	2,8	— 2,2	115
13	726,52	— 1,31	— 4,86	—4,34	— 6,6	— 2,5	2,44	—1,66	774	— 96	670	1000	...	...	NNE. 3	0,51	2,7	— 2,3	115
14	727,61	— 0,21	— 6,98	—6,47	— 8,1	— 6,0	2,20	—1,91	836	— 34	750	960	...	...	E. 1	1,00	2,5	— 2,5	114
15	723,79	— 4,03	— 8,50	—8,00	—10,0	— 6,2	2,19	—1,93	936	+ 66	880	1000	...	...	SSE. 1	0,97	—	—	114
16	719,80	— 8,01	— 4,19	—3,71	—12,5	+ 4,4	3,11	—1,02	876	+ 7	670	1000	...	...	SSO. 1	0,72	2,7	— 2,2	113
17	713,76	—14,04	+ 4,34	+4,80	+ 1,7	+ 8,7	5,12	+0,98	834	— 34	550	1000	19,6	10	SO. 1	0,99	3,4	— 1,5	113
18	715,51	—12,27	+ 2,58	+3,02	0,0	+ 5,1	3,85	—0,30	707	—160	510	960	12,6	10	SSO. 2	0,84	4,5	— 0,4	113
19	713,74	—14,01	+ 0,92	+1,34	0,0	+ 2,9	4,42	+0,26	912	+ 46	760	1000	10,0	9	SSO. 1	0,97	4,2	— 0,6	112
20	720,40	— 7,31	+ 0,82	+1,21	— 3,9	+ 5,0	3,99	—0,18	830	— 35	710	1000	...	...	SO. 1	0,61	4,6	— 0,2	111
21	721,26	— 6,41	— 5,08	—4,72	— 8,7	+ 1,9	3,04	—1,13	943	+ 79	770	1000	...	...	SSE. 1	0,69	3,4	— 1,4	111
22	722,79	— 4,84	— 2,15	—1,83	— 7,4	+ 1,3	3,72	—0,46	915	+ 52	810	990	1,0	3	variable	0,88	—	—	111
23	724,28	— 3,30	0,00	+0,28	— 2,5	+ 2,7	4,28	+0,10	925	+ 63	820	1000	0,7	2	variable	1,00	4,5	— 0,2	112
24	724,93	— 2,61	— 1,30	—1,06	— 2,4	+ 0,7	3,88	—0,31	933	+ 72	860	1000	6,2	9	variable	1,00	4,4	— 0,3	112
25	722,46	— 5,04	— 0,63	—0,44	— 2,7	+ 2,2	4,03	—0,17	912	+ 52	750	990	0,3	1	variable	0,94	4,2	— 0,5	112
26	720,01	— 7,45	— 1,74	—1,60	— 3,1	+ 0,5	3,55	—0,65	885	+ 26	820	930	...	...	NNE. 1	0,99	4,3	— 0,4	112
27	723,22	— 4,20	— 2,43	—2,34	— 3,4	— 1,3	3,02	—1,19	796	— 62	720	920	...	...	NNE. 2	1,00	3,3	— 1,4	112
28	724,16	— 3,22	— 2,82	—2,78	— 3,1	— 2,0	2,88	—1,34	782	— 75	740	800	...	...	NE. 1	1,06	2,7	— 2,0	110
29	725,83	— 1,53	— 2,14	—2,16	— 3,8	+ 1,0	3,14	—1,08	804	— 52	730	840	...	...	NE. 1	0,89	—	—	110
30	728,46	+ 1,14	— 2,21	—2,29	— 3,8	— 0,8	3,14	—1,09	811	— 44	740	910	...	...	variable	0,98	3,3	— 1,4	108
31	732,32	+ 5,04	— 2,71	—2,85	— 3,6	— 0,8	3,13	—1,11	844	— 10	780	890	...	...	SE. 1	0,94	3,6	— 1,1	108

MOYENNES DU MOIS DE JANVIER 1871.

	6 h. m.	8 h. m.	10 h. m.	Midi.	2 h. s.	4 h. s.	6 h. s.	8 h. s.	10 h. s.
				Baromètre.					
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	724,38	724,83	725,03	724,36	723,80	723,73	723,80	723,81	723,46
2e «	718,95	719,37	719,60	719,21	719,09	719,54	719,83	720,13	720,23
3e «	724,20	724,59	724,81	724,57	724,19	724,49	724,78	725,14	725,50
Mois	722,56	722,98	723,20	722,78	722,42	722,65	722,87	723,10	723,14
				Température.					
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1re décade	— 5,48	— 5,16	— 3,84	— 2,04	— 1,26	— 2,54	— 3,80	— 4,25	— 4,70
2e «	— 3,32	— 3,56	— 2,39	— 1,34	— 0,99	— 1,13	— 1,75	— 1,86	— 2,56
3e «	— 3,60	— 3,20	— 1,96	— 0,51	— 0,43	— 0,85	— 1,55	— 2,05	— 2,48
Mois	— 4,12	— 3,95	— 2,70	— 1,27	— 0,88	— 1,48	— 2,34	— 2,70	— 3,22
				Tension de la vapeur.					
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	2,87	2,94	3,02	3,22	3,34	3,14	3,12	2,99	2,91
2e «	3,26	3,09	3,20	3,49	3,43	3,33	3,29	3,29	3,30
3e «	3,21	3,32	3,44	3,64	3,66	3,52	3,56	3,44	3,36
Mois	3,11	3,12	3,23	3,46	3,48	3,34	3,33	3,25	3,20
				Fraction de saturation en millièmes.					
1re décade	939	936	876	815	800	818	888	885	898
2e «	894	844	807	810	786	772	805	810	851
3e «	912	915	862	818	814	808	857	862	869
Mois	915	899	849	815	800	800	850	853	873

	Therm. min.	Therm. max.	Clarté moy. du Ciel.	Température du Rhône.	Eau de pluie ou de neige.	Limnimètre.
	0	0		0	mm	cm
1re décade	— 7,42	— 0,96	0,86	3,26	5,8	120,0
2e «	— 5,25	+ 0,62	0,82	3,44	42,2	113,5
3e «	— 4,05	+ 0,49	0,94	3,74	8,2	110,7
Mois	— 5,52	+ 0,07	0,88	3,49	56,2	114,6

Dans ce mois, l'air a été calme 2,51 fois sur 100.

Le rapport des vents du NE. à ceux du SO. a été celui de 1,50 à 1,00.

La direction de la résultante de tous les vents observés est N. 30°,2 E., et son intensité est égale à 15,6 sur 100.

TABLEAU

DES

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AU SAINT-BERNARD

pendant

LE MOIS DE JANVIER 1871.

Le 1,	brouillard	à 10 h. du soir.
2,	id.	à 6 h. du màtin.
3,	id.	la plus grande partie de la journée.
4,	id.	jusqu'à 10 h. du matin.
6,	id.	toute la journée.
7,		Une partie de la neige tombée dans la nuit du 6 au 7 fut emportée par le vent.
8,	id.	jusqu'à 4 h. du soir.
10,	id.	jusqu'à 6 h. du soir.
16,	id.	la plus grande partie de la journée.
17,	id.	tout le jour.
18,	id.	à deux reprises dans la journée.
19,	id.	toute la journée.
22,	id.	une partie de la journée.
23,	id.	à 6 h. du matin.
24,	id.	tout le jour.
25,26,27,	id.	à peu près tout le jour.
28,	id.	de 8 h. à 10 h. du matin.
29,	id.	depuis 6 h. du soir.
30,	id.	toute la journée.
31,	id.	depuis midi.

Valeurs extrêmes de la pression atmosphérique.

MAXIMUM	mm	MINIMUM.	mm
Le 6 à 10 h. soir	561,27	Le 1 à 6 h. matin	555,42
10 à 4 h. après m.	549,56	9 à 6 h. soir	545,46
14 à 10 h. matin	558,94	11 à midi	541,76
23 à 10 h. soir	559,17	19 à 2 h. après m.	547,31
31 à 10 h. soir	565,29	26 à 8 h. soir	552,72

Jours du mois	Baromètre.				Température C.				Pluie ou neige.			Vent dominant.	Clarté moyenne du Ciel.
	Hauteur moy. des 24 heures.	Écart avec la hauteur normale.	Minimum.	Maximum	Moyenne des 24 heures.	Écart avec la température normale.	Minimum*	Maximum*	Hauteur de la neige.	Eau tombée dans les 24 h.	Nombre d'heures.		
	millim.	millim.	millim.	millim.	°	°	°	°	millim.	millim			
1	555,94	— 5,42	555,42	556,58	—15,43	— 6,82	—17,0	—13,7	.....	.....	....	SO. 1	0,32
2	557,13	— 4,20	555,47	557,90	—16,58	— 7,94	—17,5	—15,1	.....	.....	....	SO. 1	0,27
3	557,16	— 4,15	556,98	557,69	— 8,16	+ 0,51	—11,4	— 5,7	30	3,4	2	SO. 1	0,79
4	557,74	— 3,55	557,15	558,40	— 7,56	+ 1,14	— 8,6	— 4,8	10	2,0	2	SO. 1	0,51
5	558,83	— 2,44	558,46	559,24	— 9,81	— 1,08	—12,2	— 7,8	.....	.....	....	NE. 2	0,04
6	559,44	— 1,81	557,70	561,27	—13,98	— 5,21	—14,4	—12,6	.....	.....	....	NE. 3	0,99
7	559,78	— 1,45	558,20	560,73	—12,46	— 3,66	—15,0	—10,2	35	3,2	4	NE. 1	0,00
8	553,15	— 8,06	551,41	555,15	—12,85	— 4,02	—15,6	— 9,8	25	2,6	5	NE. 1	0,72
9	547,02	—14,16	545,46	549,52	—16,55	— 7,70	—18,0	—13,2	.....	.....	....	NE. 1	0,04
10	548,73	—12,42	546,85	549,56	—17,64	— 8,77	—18,4	—16,3	.....	.....	....	NE. 3	0,79
11	545,37	—15,75	544,76	546,57	—15,07	— 6,18	—16,4	—13,0	.....	.....	....	SO. 1	0,36
12	550,35	—10,75	547,59	552,55	—18,39	— 9,48	—19,4	—16,8	.....	.....	....	NE. 1	0,21
13	555,37	— 5,70	553,29	556,83	—17,16	— 8,23	—19,2	—14,5	.....	.....	....	NE. 1	0,02
14	558,39	— 2,65	557,34	558,94	— 8,54	+ 0,41	—11,0	— 5,6	.....	.....	....	SO. 1	0,00
15	558,06	— 2,95	557,72	558,63	— 9,95	— 0,98	—11,1	— 8,5	.....	.....	....	SO. 1	0,00
16	556,95	— 4,03	556,54	557,92	—12,27	— 3,38	—13,1	—11,3	.....	.....	....	SO. 1	0,77
17	553,28	— 7,67	551,35	555,46	— 9,84	— 0,83	—11,2	— 8,4	85	5,6	6	SO. 2	0,98
18	551,30	— 9,62	550,27	552,41	—11,07	— 2,05	—12,5	— 8,5	70	5,3	5	SO. 1	0,61
19	548,94	—11,95	547,31	551,54	—12,23	— 3,20	—13,5	—10,4	145	6,4	4	NE. 3	0,99
20	553,16	— 7,70	551,39	554,52	—14,04	— 5,00	—15,0	—12,6	20	1,7	2	NE. 1	0,12
21	554,01	— 6,81	552,85	555,07	—14,13	— 5,08	—16,1	— 8,9	.....	.....	....	NE. 1	0,00
22	556,32	— 4,47	555,38	557,15	— 9,87	— 0,81	—11,3	— 8,0	.....	.....	....	SO. 1	0,54
23	557,97	— 2,79	557,13	559,17	—12,76	— 3,69	—14,0	—11,2	30	2,7	4	SO. 1	0,39
24	557,85	— 2,88	556,78	559,07	—10,90	— 1,83	—12,2	— 9,4	40	2,8	3	SO. 1	0,92
25	555,60	— 5,09	555,55	556,05	—11,24	— 2,16	—12,2	— 9,2	10	1,8	3	SO. 1	0,78
26	553,55	— 7,10	552,72	554,75	— 9,04	+ 0,04	—11,0	— 7,2	.....	.....	....	NE. 1	0,60
27	554,37	— 6,24	552,89	555,60	— 9,04	+ 0,04	—12,3	— 6,1	.....	.....	....	variable	0,67
28	555,59	— 4,98	555,12	556,15	— 9,97	— 0,89	—10,8	— 8,0	.....	.....	....	variable	0,32
29	557,57	— 2,97	556,64	558,37	—10,37	— 1,29	—11,2	— 8,3	.....	.....	....	SO. 1	0,32
30	559,43	— 1,08	557,95	561,33	—12,01	— 2,94	—12,6	—11,4	90	5,3	6	SO. 1	0,98
31	563,79	+ 3,31	562,34	565,29	—12,40	— 3,33	—13,0	—10,6	.....	.....	....	SO. 1	0,73

Les chiffres renfermés dans ces colonnes donnent la plus basse et la plus élevée des températures observées depuis 6 heures du matin à 10 heures du soir, le thermométrographe étant hors de service.

MOYENNES DU MOIS DE JANVIER 1871.

	6 h. m.	8 h. m.	10 h. m.	Midi.	2 h. s.	4 h. s.	6 h. s.	8 h. s.	10 h. s
Baromètre.									
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	555,35	555,79	556,08	555,69	555,50	555,54	555,44	555,47	555,29
2e »	552,67	553,68	553,32	553,02	552,87	553,19	553,38	553,45	553,79
3e »	556,37	556,72	557,03	556,94	556,76	557,00	557,13	557,38	557,62
Mois	554,85	555,24	555,53	555,27	555,10	555,30	555,38	555,50	555,64
Température.									
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1re décade	—13,68	—13,48	—12,73	—11,65	—11,54	—12,95	—13,54	—13,27	—13,54
2e »	—13,23	—13,43	—12,59	—11,82	—11,32	—12,26	—13,28	—13,00	—13,23
3e »	—11,86	—11,70	—10,91	— 9,96	— 9,16	—10,35	—11,18	—11,39	—11,53
Mois	—12,89	—12,83	—12,04	—11,11	—10,63	—11,81	—12,62	—12,52	—12,73

	Min. observé.*	Max. observé.*	Clarté moyenne du Ciel.	Eau de pluie ou de neige.	Hauteur de la neige tombée.
	0	0		mm	mm
1re décade	—14,81	—10,92	0,45	11,2	100
2e »	—14,24	—10,96	0,41	19,0	320
3e »	—12,43	— 8,94	0,57	12,6	170
Mois	—13,78	—10,23	0,48	42,8	590

Dans ce mois, l'air a été calme 11,8 fois sur 100.

Le rapport des vents du NE. à ceux du SO. a été celui de 1,10 à 1,00.

La direction de la résultante de tous les vents observés est N. 45° E., et son intensité est égale à 5,0 sur 100.

* Voir la note du tableau.



Fig. I.



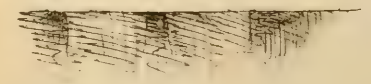


Fig. II

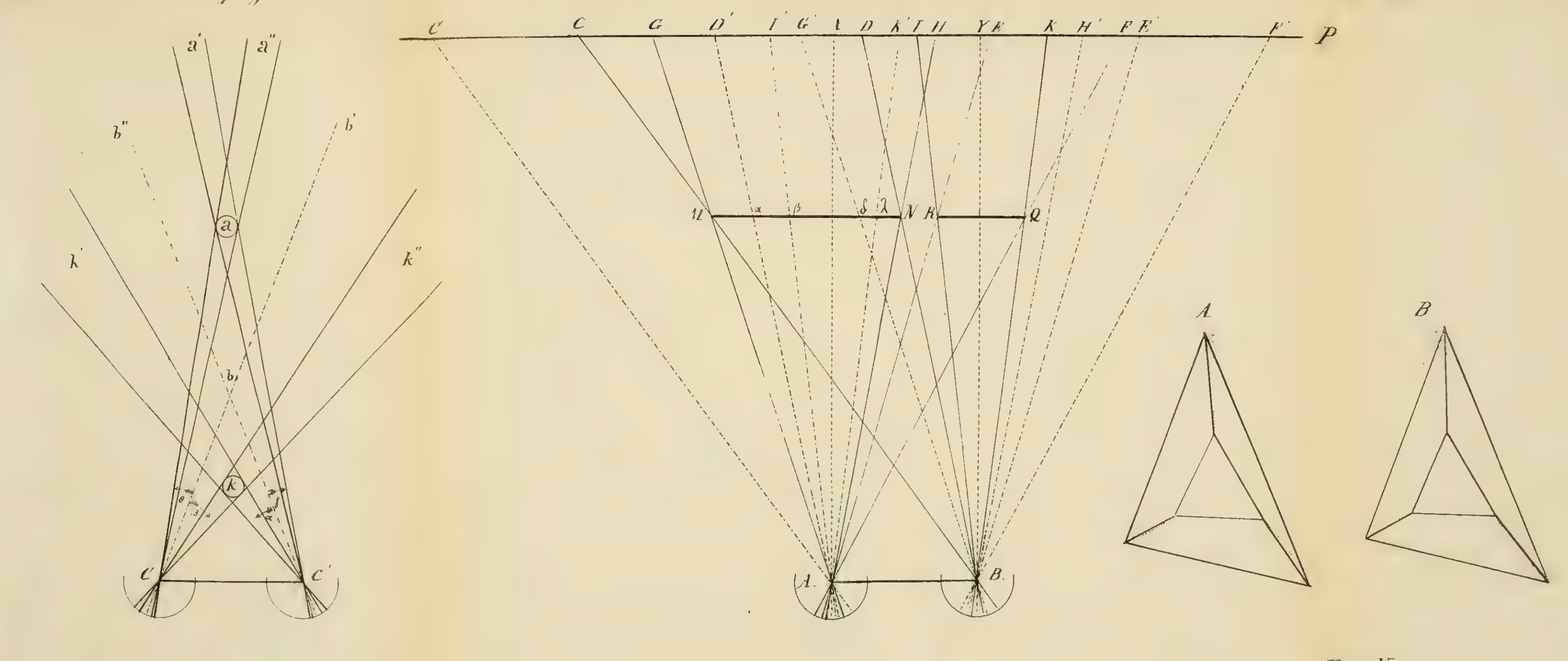


Fig. III — *Fig. IV* — *Fig. V*



INSTRUCTION

POUVANT SERVIR A

L'ÉTABLISSEMENT

DES OBSERVATOIRES MÉTÉOROLOGIQUES

PAR

M. V. REGNAULT.

Jusqu'ici les observations météorologiques ont eu principalement pour objet de fournir des éléments à la cosmographie terrestre. On se proposait de tracer sur la surface du globe les *lignes isothermes*, c'est-à-dire les courbes qui passent par tous les points où la température moyenne de l'année est la même. Cette question a perdu beaucoup de son intérêt depuis que l'on connaît mieux toutes les circonstances qui influent sur cette température moyenne. On notait, à différentes heures de chaque jour, la pression barométrique dans les divers lieux du globe. Les différences entre ces pressions simultanées exercent évidemment la plus grande influence sur la direction et l'intensité des vents, et cette question intéresse la navigation au plus haut degré.

Sous l'influence de ces idées générales, il n'est pas étonnant que les observations météorologiques aient été attribuées dès l'abord aux Observatoires astronomiques; d'autant plus que ces établissements étaient déjà pourvus du personnel nécessaire pour les faire de nuit comme de jour. Mais cette science intéresse aussi le naturaliste et

l'agronome, et, à ce point de vue spécial, elle doit être traitée, selon moi, suivant des méthodes et à l'aide d'appareils différents de ceux qui ont été appliqués jusqu'ici dans les Observatoires astronomiques.

A plusieurs reprises, une instruction m'a été demandée en France pour les Observatoires météorologiques qu'on se proposait d'établir dans les Écoles d'agriculture. Cette circonstance m'a forcé à réfléchir beaucoup sur ce sujet, hérissé de difficultés de tous genres. La première difficulté, et c'est la principale, consiste à définir nettement toutes les observations qui intéressent les naturalistes, celles qui sont utiles, ou nécessaires, à la solution des questions qu'ils se posent. Un programme de ce genre ne peut être bien formulé que par les naturalistes eux-mêmes. Il faut ensuite imaginer les appareils, indiquer la disposition qu'il convient de leur donner, enfin décrire les méthodes d'observation et de calcul. Cette seconde partie du programme incombe au physicien expérimentateur ; c'est la seule que j'aie la prétention de traiter, et je me suis imposé la double condition de rendre les appareils rigoureusement comparables, et d'exiger de l'opérateur le travail le moins assujettissant possible.

Mes essais sont encore bien incomplets, et je ne songeais pas à les publier. Je profite aujourd'hui des loisirs que les malheurs de mon pays m'imposent, pour les réunir en une notice que je demande la permission de présenter à la Société des Sciences de Physique et d'Histoire naturelle de Genève. Je m'estimerai heureux si les savants genevois veulent l'accepter comme un faible témoignage de ma vive reconnaissance pour l'hospitalité cordiale qu'ils ont bien voulu m'accorder.

Hauteurs barométriques.

Le baromètre généralement employé dans les Observatoires est le *baromètre à cuvette de Fortin,* qui est toujours préférable aux baromètres à syphon. Mais il est essentiel que l'observateur s'assure de sa parfaite exactitude. Pour cela, on se contente ordinairement de comparer les indications de l'instrument à celles que donne simultanément un baromètre *réputé exact.* S'il y a une différence, on la fait disparaître en faisant monter ou descendre convenablement la petite tige, dont la pointe inférieure, destinée à affleurer le mercure de la cuvette, représente le zéro de l'échelle divisée. D'autres fois, laissant cette tige en place, on regarde la différence observée comme une erreur constante, dont on corrige toutes les indications de l'instrument.

La première méthode de correction, celle par déplacement du zéro, est toujours employée par le constructeur qui veut livrer un baromètre marchant d'accord avec un baromètre étalon, que l'on considère, à tort ou à raison, comme parfaitement exact.

Cette manière d'opérer est vicieuse; elle suppose *à priori* que l'erreur de l'instrument provient uniquement d'une position fausse du zéro de l'échelle. Mais il est facile au constructeur de donner dès l'origine une position exacte à ce zéro; en tout cas, il peut vérifier, à l'aide du cathétomètre, l'exactitude du zéro sur l'instrument monté.

Un constructeur, habile et loyal, s'arrangera toujours pour que le baromètre soit parfaitement purgé d'air et d'humidité; de sorte que, en déplaçant la pointe pour établir la concordance avec l'étalon, il corrigera à la fois l'inexactitude du zéro et la différence de l'action capillaire

entre les deux instruments. Mais si l'instrument est de construction ancienne, s'il a voyagé, on doit craindre qu'il se soit dérangé, soit par l'introduction d'une très-petite quantité d'air ou d'humidité, soit par un déplacement de l'échelle, laquelle, dans nos baromètres, n'est jamais réunie, d'une manière suffisamment invariable, avec son zéro. Il est donc dangereux d'admettre, sans vérification possible, que l'instrument transporté n'a pas subi d'altération, et qu'il suffit de corriger ses indications de l'erreur constante que l'on a reconnue en le comparant à l'étalon, avant son transport.

On s'explique ainsi ce fait fâcheux que les baromètres des divers Observatoires sont loin d'être parfaitement d'accord.

Je propose pour les Observatoires un baromètre à cuvette, que chaque expérimentateur peut faire facilement lui-même sur place, qui porte en lui les moyens nécessaires pour constater sa parfaite exactitude : de plus, qui n'exige aucune correction pour la capillarité ; enfin, qui revient à meilleur marché que les baromètres ordinaires. C'est le baromètre que j'emploie exclusivement depuis trente ans pour mes recherches de physique, et que j'ai décrit (*Annales de Physique et de Chimie*, 3me série, tome XIV, p. 219 et *Mémoires de l'Acad. des Sciences*, tome XXVI, p. 130). Je vais décrire avec détail la partie de la construction que le physicien doit faire lui-même, c'est-à-dire l'établissement du tube barométrique :

On choisit un beau tube de verre, de 15 à 16 millimètres de diamètre intérieur, et d'un mètre au moins de long. Ce tube doit être aussi égal que possible et ne montrer ni fils ni grains. On commence par faire passer à travers ce tube un petit tampon de linge neuf, attaché au

milieu d'une ficelle, pour enlever les poussières adhérentes aux parois. Cette opération doit être répétée plusieurs fois. Un habile souffleur ferme ensuite l'extrémité *a* (Pl. IV, fig. 1); il étire le tube en *b* suivant une tubulure *bc* de 5 à 6 centimètres de long, et ayant 4 à 5 millimètres de diamètre intérieur; enfin, il borde à la lampe l'extrémité *d* de la portion *cd* qui reste comme entonnoir.

Le tube ainsi confectionné doit être séché intérieurement en le mettant en communication avec la machine pneumatique et laissant rentrer de l'air sec. Cette dessication préalable n'est pas nécessaire, mais elle rend l'ébullition du mercure plus facile et plus rapide.

Le mercure doit avoir été bien purifié. Pour cela, je le chauffe dans une petite marmite en fonte, en le recouvrant d'une couche d'acide azotique étendu de trois fois son volume d'eau, jusqu'à ce que les vapeurs nitreuses commencent à paraître. Je fais alors tomber presque complétement le feu, et j'abandonne le tout pendant deux heures. Il se forme une pellicule cristalline de sous-azotate d'oxydule de mercure que l'on enlève. On lave le mercure, à plusieurs reprises, avec de l'eau froide et on le laisse quelques heures dans une capsule de porcelaine, au-dessus d'une autre capsule renfermant de l'acide sulfurique concentré et sous une cloche de verre. Il est bon de ne pas conserver ce mercure longtemps à l'air humide, parce qu'il s'oxyde alors sensiblement, surtout si la température est élevée.

Pour introduire le mercure dans le tube, on le fait couler par un entonnoir soufflé en verre, terminé par une pointe ouverte, très-effilée, et que l'on pose sur l'orifice *d* du tube barométrique. Lorsqu'une hauteur de 2 à 3 centimètres de mercure a pénétré dans le tube, on ar-

rête l'arrivée du mercure : on secoue vivement le tube avec le mercure contenu, enfin on fait écouler ce mercure : c'est une dernière précaution prise pour enlever les poussières et surtout les filaments organiques attachés aux parois, qui, en se décomposant pendant l'ébullition du mercure, rendraient la purification plus difficile.

On procède alors à l'emplissage définitif du tube, à l'aide du même petit entonnoir, que l'on maintient toujours à peu près plein, pour que les poussières fines qui gagnent la surface restent dans l'entonnoir et n'arrivent pas dans le tube barométrique. On arrête quand le niveau du mercure s'élève de quelques millimètres dans la tubulure *cd*.

Je fais bouillir le mercure par couches successives de bas en haut ; pour cela je me sers d'un petit fourneau de terre A qui porte une échancrure B, par laquelle on peut faire passer le tube barométrique. Ce fourneau est rempli de charbons bien allumés. On chauffe d'abord l'extrémité *a* du tube directement sur les charbons, mais en tenant le tube très-incliné et le faisant tourner constamment autour de son axe. L'opérateur maintient le tube serré par sa main gauche, qu'il garantit contre la chaleur par une poignée semblable à celles dont les blanchisseuses se servent pour tenir les fers à repasser, et il donne au tube son mouvement de rotation en tournant la tubulure *cd* à l'aide de sa main droite. Les bulles d'air et de vapeur d'eau s'élèvent en spirale le long des parois du tube. Lorsque l'ébullition du mercure commence dans le bas, on soulève un peu le tube pour qu'elle ne devienne pas trop vive.

On fait alors passer l'extrémité *a* du tube par l'encoche B, et on porte l'ébullition plus haut. Le mercure est

assez mauvais conducteur de la chaleur pour que l'ébullition ne s'effectue que sur une zone assez étroite : l'ébullition produit des coups secs qui font monter les bulles successivement. On reconnaît facilement que la partie inférieure, celle qui est au-dessous des charbons, est bien purgée. Il suffit de la regarder attentivement pendant qu'elle est encore chaude et que le tube tourne continuellement ; le mercure présente alors une surface miroitante, extrêmement brillante. Si on y aperçoit un peu de terne, ou quelques très-petites bulles, il faut remonter le tube et faire bouillir de nouveau.

Lorsqu'une portion notable du tube a passé par l'échancrure B du fourneau, un aide reçoit l'extrémité *a* sur plusieurs doubles de linge ou de peau pour maintenir le tube. Il doit surveiller aussi les zones qui descendent par l'échancrure, et s'assurer qu'elles ne présentent ni trouble, ni petite bulle persistante.

Lorsque l'ébullition approche de la partie rétrécie *bc*, il faut éviter que le mercure, devenu très-chaud dans l'entonnoir *cd*, n'absorbe un peu d'oxygène à l'air, auquel cas il pourrait plus tard crasser les parois du tube barométrique. On évite ce danger en fermant imparfaitement l'orifice *d* à l'aide du petit tube effilé *ef* qui empêche le renouvellement de l'air.

On laisse le tube refroidir, en le maintenant vertical, et l'on examine avec la plus grande attention si l'on ne voit pas quelque petite bulle, ou un dépoli, en une partie quelconque de la surface miroitante. De plus, on veille à ce que, pendant le refroidissement, le mercure s'élève d'au moins un centimètre dans l'entonnoir *cd* : s'il menaçait de descendre plus bas il faudrait ajouter un peu de mercure chaud.

Avant que le tube ne soit complétement refroidi, on fait un trait en *c* à l'aide d'une lame d'acier bien affilée ; puis tirant dans le sens de la longueur du tube, on détache l'entonnoir *cd*. Le mercure continuant à se refroidir, descend de quelques millimètres au-dessous de la cassure ; on en profite pour border les arêtes vives de cette cassure avec le jet d'une flamme de gaz.

On s'apprête alors à retourner le tube barométrique dans sa cuvette à mercure. Pour cela on le chauffe légèrement jusqu'à ce que le mercure dilaté forme un ménisque convexe au-dessus de l'orifice *cd* ; on y applique le doigt et on retourne vivement le tube dans la cuvette. On retire ensuite lentement le doigt pour laisser tomber, sans secousse, l'excédant du mercure. La figure 2 représente le baromètre disposé dans sa cuve.

La cuve ABCD est en fonte de fer ; la figure 3 en représente une coupe transversale, suivant la ligne *xy* de la figure 2. Cette cuve est disposée de façon que la surface du mercure y occupe une très-grande étendue, afin que les variations de niveau dans le tube barométrique n'en fassent pas subir de sensibles dans la cuvette.

J'admettrai d'abord que le baromètre doive toujours être observé directement par l'expérimentateur. Dans ce cas le tube barométrique est fixé invariablement à une planche verticale, sur laquelle est ajustée également la cuvette à mercure. Sur la face postérieure de la cuvette est fixée, à l'aide de vis, une pièce M portant une vis micrométrique à deux pointes *mo*. On tourne cette vis de façon que la pointe *o* affleure exactement le niveau du mercure dans la cuvette.

On détermine la hauteur du baromètre à l'aide d'un cathétomètre, dont on fait affleurer l'axe de la lunette,

successivement, au sommet nn' du ménisque de mercure dans le tube barométrique et à la pointe supérieure m de la vis micrométrique. Si l'on ajoute à la distance des niveaux nn' et mm', observée sur le cathétomètre, la longueur de la vis entre ses deux pointes m,o, longueur que l'on peut mesurer aussi souvent que l'on veut avec le même cathétomètre en soulevant convenablement la vis, on aura la hauteur barométrique avec une très-grande exactitude.

Il faut maintenant s'assurer que le baromètre est parfaitement exact, qu'il ne renferme ni trace d'air, ni trace d'humidité. Pour cela, à un moment où le baromètre paraît stationnaire, on prend la hauteur barométrique, le tube étant dans la position de la figure 2; puis on fait descendre vivement le tube, de manière à réduire la chambre barométrique à $\frac{1}{2}$ ou $\frac{1}{4}$ de la capacité qu'elle présentait dans sa première position, et on prend de nouveau au cathétomètre la hauteur barométrique. Si le baromètre a été bien purgé, les deux hauteurs seront parfaitement égales. Il est clair que cette vérification peut être répétée aussi souvent que l'on veut.

Notre baromètre n'a pas besoin de subir une correction pour la capillarité, parce que la dépression capillaire du mercure dans un tube de 15 à 16 millimètres de section est négligeable.

Pour faire la correction convenable pour la température, je fixe sur la planche, immédiatement à côté du tube barométrique, un gros thermomètre à mercure dont le réservoir est formé par un bout de tube en verre de même section que le tube barométrique.

Le baromètre, tel que je viens de le décrire, est celui que j'emploie pour mes expériences de physique. Mais dans un Observatoire météorologique il faut que ses ob-

servations soient enregistrées automatiquement, sans que la présence de l'observateur soit nécessaire. Je lui fais subir alors les modifications suivantes :

Le tube barométrique est toujours fixé par rapport à la cuve dans la position que montre la figure 2 : mais il est enveloppé par une tubulure cylindrique khk', adaptée à une règle en laiton ki, terminée par une pointe i qu'on fait affleurer à la surface du mercure de la cuve. Cet ajutage peut être fixé invariablement au tube barométrique, la pointe i se trouvant à une hauteur convenable ; on verse alors dans la cuve la quantité de mercure nécessaire pour affleurer la pointe i qui sera le zéro de notre échelle. Mais il est préférable que la règle hki soit mobile, qu'elle glisse dans une coulisse verticale, parce que cela permet, sans déranger le tube, de faire varier la capacité de la chambre barométrique, par conséquent de reconnaître, aussi souvent que l'on veut, la parfaite exactitude du baromètre.

La tubulure hk est percée suivant deux fenêtres longitudinales opposées fg, à l'aide desquelles on voit la partie supérieure du ménisque mercuriel. La petite ligne supérieure f de la fenêtre antérieure est perpendiculaire à la direction de la règle ki, et l'on a déterminé, une fois pour toutes (chez le constructeur), à l'aide du cathétomètre la distance de la pointe i à la ligne horizontale ff'. Je supposerai que cette distance soit exactement de 800^{mm},00.

Pour avoir la hauteur barométrique à un moment quelconque, il suffit de mesurer exactement la distance du sommet du ménisque nn' à la ligne ff', et de retrancher cette distance de 800 millimètres. Cette distance sera déterminée par les procédés connus si l'observateur veut faire lui-même ses observations : mais je ne veux m'occu-

per que du cas, le seul pratique à mon avis, où les observations sont relevées d'une manière continue par l'appareil lui-même.

Pendant le jour, un miroir placé à l'extérieur, projettera la lumière du ciel en un faisceau horizontal, à travers la fenêtre *fg*. Une chambre noire photographique reçoit ce faisceau sur son objectif et donne une image très-nette de la fenêtre *fg* sur le verre dépoli.

Cette chambre noire consiste en un simple tube métallique terminé d'un côté par l'objectif, de l'autre côté par un appendice dans lequel on ajuste soit la glace dépolie, soit une glace préparée au collodion sec, après action du tannin. Cette chambre noire est fixée, une fois pour toutes, afin que les glaces reçoivent, dans la position invariable qui leur est assignée, l'image la plus nette de la ligne *ff'* et du ménisque mercuriel. La grandeur de l'image dépendra de la longueur focale de l'objectif, et de la distance de l'objectif à la fente *fg*. On peut choisir l'objectif de façon que la grandeur de l'image soit précisément égale à celle de l'objet. Dans ce cas, il suffira de mesurer avec une règle divisée en millimètres, la distance du ménisque à *f* sur l'image photographique. On peut très-bien adopter une disposition de ce genre si la photographie ne se fait qu'avec la lumière du jour; mais si l'on veut opérer aussi la nuit, et n'employer qu'une lampe à huile ordinaire dont l'action photogénique est toujours assez faible, il est préférable de choisir un objectif d'un foyer plus court, et de le placer de façon à donner une image seulement moitié de la grandeur de l'objet.

La glace préparée est maintenue dans une coulisse suivant laquelle elle glisse horizontalement, poussée par

un mouvement d'horlogerie ; ses diverses parties viennent ainsi recevoir, successivement, l'impression de la portion lumineuse de la fenêtre *fn*.

Au bout de 24 heures, on retire la glace, en la maintenant toujours dans l'obscurité ; puis on développe l'image. On aura ainsi sur la glace une surface noire *nff'n'*, fig. 4, dans laquelle la droite *ff'* représente la ligne tracée par le haut de la fenêtre, et la ligne sinueuse *nn'* a été tracée par le sommet du ménisque mercuriel. Si l'on veut avoir la hauteur du baromètre à une heure déterminée de la journée qui correspond, je suppose, à l'abscisse *fx*, il suffit de mesurer la longueur *xy* de l'ordonnée, de la transformer en millimètres, et de retrancher le nombre de ces millimètres de 800. Il sera généralement plus simple de prendre un positif sur papier que l'on peut conserver ; la glace peut alors servir pour de nouvelles opérations.

En employant des glaces de dimensions un peu grandes, par exemple celles de 21 centim. sur 27 centim., la même glace peut servir pour inscrire les observations d'une semaine entière. Il suffit pour cela que, après chaque 24 heures, le châssis qui porte la glace descende d'une hauteur plus grande que celle que les ordonnées *xy* peuvent atteindre dans la contrée où l'on opère, de sorte que, le jour suivant, une seconde image analogue à la figure 4, se formera au-dessus de la première. A la fin de la semaine, on développe la glace, et l'on prend un positif sur papier qui contient alors les observations d'une semaine entière.

L'enregistrement photographique se fait plus difficilement pendant la nuit. Je procède de la manière suivante : Une lampe S, figure 5, à gaz ou à huile, la plus brillante

possible, est placée à une certaine distance du baromètre. Ses rayons sont ramenés à peu près au parallélisme par le collimateur O et viennent tomber sur le prisme rectangle, isocèle ABC, qui les envoie par la double fenêtre fg du baromètre figure 2, vers l'objectif de la chambre noire. La lumière qui traverse ainsi entre f et le sommet du ménisque est suffisamment photogénique pour marquer sur la glace, pourvu que la translation de cette dernière ne soit pas trop rapide.

Rien n'est plus facile que d'avoir la valeur du millimètre sur les épreuves photographiques. Il suffit pour cela de fixer sur la règle kk' de la figure 2, entre f' et k' une échelle en millimètres, tracée en noir sur ivoire, de l'éclairer par la lumière du jour et d'en prendre l'épreuve photographique avec la chambre noire, à laquelle on a donné sa disposition définitive et invariable. A l'aide de cette donnée, il est facile de construire un appareil micrométrique avec lequel on relèvera rapidement les valeurs en millimètres des ordonnées xy de la figure 4.

Températures

Dans les Observatoires astronomiques on se contente généralement d'inscrire, à des heures déterminées du jour et de la nuit, les indications données par un thermomètre à mercure, placé au nord, à l'ombre, et plus ou moins abrité. Il est évident que ces indications ne suffisent pas pour les études botaniques et agronomiques. Si l'on veut reconnaître l'influence que la température exerce sur le développement d'une plante, il faut noter cette température dans toutes les régions où se trouvent les organes essentiels de la plante, savoir dans la couche de terre où se trouve le chevelu de ses racines, dans la

zone atmosphérique où passent successivement la fleur, le fruit, etc., etc. En un mot, il faut observer *simultanément* plusieurs thermomètres dont les températures seront souvent très-différentes, puisque quelques-uns recevront la radiation directe du soleil.

Les observations de ce genre seraient bien pénibles et rebuteraient l'expérimentateur le plus zélé, si les instruments devaient être observés aux endroits où ils fonctionnent. J'ai cru qu'il était nécessaire d'imaginer un genre de thermomètres, dont les réservoirs seraient placés dans les endroits plus ou moins éloignés dont on a intérêt de connaître la température, tandis que leurs échelles seraient réunies dans un cabinet spécial, où l'on relèverait leurs indications par les procédés photographiques.

Il est difficile de remplir toutes ces conditions d'une façon pratique; je vais décrire les appareils que j'ai imaginés pour cet objet.

Thermomètre à air.

Le thermomètre à air que je propose consiste en un tube cylindrique en argent *ab* (figure 6,) fermé en *a*, et portant une petite tubulure *bc*. Dans cette tubulure on soude, à la soudure d'argent, un fil capillaire d'argent [1],

[1] Je donne le nom de fil capillaire d'argent à un tube d'argent à section ouverte capillaire. Pour exécuter un fil de ce genre, on coule de l'argent fin dans une lingotière en fer qui lui donne la forme d'un tube cylindrique creux, de 10 à 12 millimètres de diamètre extérieur et de 2 à 3 millimètres de vide intérieur. On étire ce tube en longueur sur un fil d'acier bien poli, qui lui conserve à peu près sa section intérieure primitive en la rendant bien égale. Puis, lorsqu'il a pris une certaine longueur, on étire le tube seul à la filière comme un fil plein, en le recuisant fréquemment pour conserver au métal sa grande malléabilité. On parvient ainsi à rétrécir le calibre intérieur

auquel on donne une longueur suffisante pour qu'il puisse s'étendre depuis la place que l'on doit donner au

autant qu'on veut. Pour le cas actuel, il est bon de conserver au fil un diamètre extérieur de 1 millimètre ; son calibre intérieur étant alors de $^{1}/_{3}$ de millimètre environ.

On fait couramment à Paris, sur mes indications, des longueurs de fil capillaire en argent, sans défaut, de 10 à 20 mètres ; ils sont d'une flexibilité parfaite quand ils ont été recuits. Si l'on veut leur donner une longueur encore plus grande, on peut en réunir plusieurs, bout à bout. Pour opérer cette jonction, je fais faire une petite tubulure d'argent d'un centimètre environ de long, dans laquelle les deux fils capillaires entrent à frottement. J'introduis les deux bouts de façon à les amener au contact, chacun occupant à peu près la moitié de la tubulure, enfin je fais faire une bonne soudure à l'argent recouvrant la tubulure. On conçoit que par ce procédé on peut avoir une aussi grande longueur que l'on veut. Il est évident que l'on doit essayer préalablement chaque longueur de fil avant de l'employer. Cela est très-simple : on engage l'une des extrémités ouvertes dans un petit tube de verre fermé où on la mastique ; on mastique l'autre extrémité ouverte dans un tube communiquant avec une pompe foulante, à l'aide de laquelle on comprime l'air à l'intérieur. Le tube capillaire, tourné en spirale, étant plongé dans une cuve pleine d'eau, s'il y avait la moindre fissure, on le reconnaîtrait au dégagement des bulles d'air. J'ai rencontré bien rarement ces défauts dans les tubes d'argent que j'ai employés.

Depuis grand nombre d'années je fais un fréquent usage de ces fils capillaires d'argent, même dans des expériences où la pression s'élève à 20 atmosphères et au delà ; je puis assurer leurs bons services et leur très-longue durée.

On peut voir (*Mémoires de l'Académie des Sciences*, t. XXXI, p. 537 et suivantes) que des tubes capillaires de platine, de plus grande section, ont résisté à des pressions de plus de 80 atmosphères, pendant plusieurs jours, sans montrer la moindre fuite. Il est difficile cependant de donner aux fils de platine une longueur de plus de 2 à 3 mètres.

J'ai fait étirer des tubes capillaires du même genre en cuivre rouge, et j'en ai obtenu de très-grande longueur ; mais ces tubes présentent fréquemment des fissures longitudinales, même quand on les fait avec le cuivre le plus pur, le plus doux. Quelquefois ces fissures ne se montrent pas au premier essai, mais elles se manifestent après quelques jours de service.

réservoir jusqu'au cabinet d'observation. L'extrémité libre de ce fil est soudée dans une petite tubulure d'argent *de*, par laquelle le réservoir du thermomètre à air communiquera avec le manomètre indiquant la pression de l'air intérieur.

Le manomètre, placé dans le cabinet d'observation, se compose d'un premier tube de verre *ef*, terminé par une tubulure plus étroite, qui est mastiquée à l'intérieur de la tubulure en argent *de* terminant le tube capillaire. Le tube *ef* est mastiqué dans une pièce en fer, munie d'un robinet R à trois voies, et qui porte une seconde tubulure dans laquelle on a mastiqué un second tube de verre *hg*, ouvert aux deux bouts. Ces tubes ont le même diamètre intérieur, qui est d'environ 8 millimètres.

Pour monter le thermomètre, on commence par bien sécher l'air dans le réservoir *ab* et dans le tube capillaire qui le termine. A cet effet on met le tube capillaire, par sa tubulure *de*, en communication avec une petite pompe à l'aide de laquelle on en aspire l'air, que l'on fait rentrer ensuite en le faisant passer préalablement par un tube rempli de fragments de pierre ponce, imbibés d'acide sulfurique concentré. Ces opérations doivent être répétées un grand nombre de fois pour obtenir une dessication complète. A l'aide du même procédé on dessèche l'air du manomètre *efgh*, que l'on remplit ensuite de mercure jusqu'à un repère α marqué sur le tube *ef*, le mercure restant au même niveau dans le second tube *hf* qui communique avec l'atmosphère. On mastique ensuite, à la résine, la tubulure *de*, afin d'obtenir la communication hermétique du réservoir *ab* avec son manomètre.

Voyons maintenant comment on peut faire fonctionner cet appareil. Je supposerai d'abord qu'il ne doive pas

fonctionner automatiquement, et que l'observateur soit obligé de relever lui-même ses indications, en prenant avec le cathétomètre, ou à l'aide de divisions métriques tracées sur les deux tubes, la différence de niveau $\alpha\beta$ du mercure dans les deux tubes du manomètre.

Une première expérience lui fixera le zéro du thermomètre à air. Pour cela il enveloppera de glace fondante le réservoir *ab*, ainsi que son fil capillaire qu'il aura tourné en rouleau pour plus de facilité. Il amènera le niveau du mercure dans le tube *ef* exactement au niveau α, et il mesurera au cathétomètre la différence de niveau $\alpha\beta$, qui, à cette basse température, sera inverse de celle que présente la figure. Soient :

V la capacité, en centimètres cubes, du réservoir *ab*, y compris celle, très-petite, du tube capillaire jusqu'à la jonction *de*,

v l'espace, en centimètres cubes, occupé par l'air dans le tube *ef* jusqu'au repère α,

t la température de la pièce où se trouve le manomètre,

H la hauteur du baromètre réduite à 0°,

h la différence de hauteur du mercure, réduite à 0°, dans les deux branches du manomètre,

α le coefficient de dilatation de l'air égal à 0,003665, tel qu'on le déduit du changement de force élastique, le volume du gaz restant constant,

k le coefficient de dilatation cubique du métal formant le réservoir *ab*,

enfin *d* le poids du centimètre cube d'air sec, à 0° et sous la pression de 760 millimètres.

Le poids de l'air qui remplit l'appareil, calculé avec les éléments de cette expérience, est représenté par :

$$d\left(V+v\,\frac{1}{1+\alpha t}\right)\frac{H+h}{760}.$$

La glace étant ôtée, on remet le réservoir *ab* dans sa position définitive, en déroulant le fil capillaire.

Lorsqu'on voudra déterminer la température x à laquelle se trouve le réservoir *ab* à un moment quelconque, on ramènera le mercure au même repère α du manomètre, en versant du mercure par le tube *hg*, ou le faisant couler par le robinet R ; puis on déterminera la différence de hauteur h' des deux colonnes du manomètre, et la température t' du cabinet. Soit de plus H' la hauteur actuelle du baromètre.

Le poids de l'air remplissant l'appareil, exprimé à l'aide de ces éléments, sera :

$$d\left(V\frac{1+kx}{1+\alpha x}+v\,\frac{1}{1+\alpha t'}\right)\frac{H'+h'}{760}$$

ou, parce que k est très-petit,

$$d\left(V\,\frac{1}{1+(\alpha-k)x}+v\,\frac{1}{1+\alpha t'}\right)\frac{H'+h'}{760}.$$

Ces deux poids doivent être égaux, on a donc :

$$d\left(V\frac{1}{1+(\alpha-k)x}+v\frac{1}{1+\alpha t'}\right)\frac{H'+h'}{760}=d\left(V+v\,\frac{1}{1+\alpha t}\right)\frac{H+h}{760}$$

et simplifiant

$$\left[\frac{1}{1+(\alpha-k)x}+\frac{v}{V}\,\frac{1}{1+\alpha t'}\right](H'+h')=\left(1+\frac{v}{V}\,\frac{1}{1+\alpha t}\right)(H+h).$$

Je pose :

$$\left(1+\frac{v}{V}\,\frac{1}{1+\alpha t}\right)(H+h)=A\,,$$

A étant une quantité constante, calculée une fois pour

toutes sur la première expérience faite dans la glace fondante.

On déduit de là :

$$1+(\alpha-k)x = \frac{1}{\frac{A}{H'-h'} - \frac{v}{V}(1+\alpha t')}$$

La valeur du second membre est donnée par un calcul très-court, et on en déduit très-simplement la valeur de x.

Le rapport $\frac{v}{V}$ est très-petit ; on peut d'ailleurs le diminuer autant qu'on le veut, car on peut augmenter sans inconvénient la capacité V du réservoir *ab*. Pour abréger les calculs, on fera une table des valeurs $\frac{v}{V}(1+\alpha t')$ pour toutes les températures t'', de degré en degré, qui pourront avoir lieu dans le cabinet d'observation.

Voyons maintenant comment on peut faire fonctionner cet appareil automatiquement, les éléments étant enregistrés par les procédés photographiques.

Je ne puis plus alors ramener le mercure au même repère α pour chaque expérience, afin de rendre le volume v constant; je suis obligé de laisser ce volume varier avec les changements de température et de pression. Mais il faudra choisir entre deux conditions également réalisables :

1° Si l'on veut que le changement de volume du gaz soit toujours très-petit et que l'effet principal consiste dans le changement de force élastique, on donnera aux tubes du manomètre une faible section (4 ou 5 millim.), et une grande capacité au réservoir.

2° Si l'on donne, au contraire, une moindre capacité au réservoir et une plus grande section aux tubes du ma-

nomètre, la dilatation du gaz prendra une plus grande influence, et les hauteurs h' seront beaucoup moindres.

La dernière disposition est plus favorable pour l'enregistrement photographique, parce que les images auront moins de hauteur, et de plus que l'on pourra graver, sur les tubes du manomètre, des divisions métriques qui marqueront photographiquement sur l'image.

Dans les deux cas la quantité de mercure introduite primitivement dans le manomètre doit être telle que, lorsque le réservoir du thermomètre est exposé à la plus basse température qui puisse régner dans la contrée, le mercure ne s'élève jamais au-dessus du répère α du tube *ef*.

Il est utile de remarquer que la quantité de mercure introduite dans le manomètre n'a pas besoin de rester la même ; on peut la varier à volonté en manœuvrant le robinet R, pourvu que le poids du gaz reste absolument invariable. On peut donc, suivant les saisons, augmenter ou diminuer la quantité de mercure du manomètre, et maintenir les images à enregistrer entre des limites peu étendues.

L'appareil photographique est disposé ainsi que je l'ai dit pour le baromètre. On projette sur une glace dépolie, placée en arrière du manomètre, la lumière d'une forte lampe réfléchie perpendiculairement au plan des tubes du manomètre par un prisme rectangle isocèle : On reçoit la lumière sur l'objectif de la chambre noire, qui produit sur la glace sensibilisée une image très-nette des deux ménisques, ainsi que l'image du point de repère α. On ne donne plus ici à la glace sensibilisée un mouvement de transport continu et régulier, comme on le faisait pour le baromètre afin d'obtenir une courbe continue se

rapportant à tous les instants des 24 heures. On inscrira seulement les températures d'heure en heure. A cet effet un mouvement d'horlogerie, semblable à celui qui fait marcher la sonnerie d'une horloge ordinaire, soulèvera un écran bouchant l'objectif, et le laissera soulevé le nombre de minutes nécessaire pour que la glace soit suffisamment impressionnée. Après quoi le même mécanisme baissera l'écran, et donnera en même temps à la glace le mouvement de translation nécessaire pour que l'image suivante ne vienne pas se superposer, ou empiéter, sur celle qui vient de se produire. On relèvera sur l'image développée la hauteur h du manomètre, ainsi que la distance du ménisque mercuriel du tube fe au repère α, d'où l'on peut déduire le volume v.

Les quantités h et v seront relevées facilement si l'on a gravé sur les tubes du manomètre des échelles en millimètres, dont les traits sont rendus opaques à la lumière :

L'échelle sur le tube ef aura son zéro au point que l'on choisira pour le repère α; ses divisions descendront vers f;

L'échelle sur le tube gh sera au contraire montante; son zéro sera vers le bas du tube.

La lumière transmise marquera sur la glace de l'appareil photographique la portion de chacune des échelles qui dépasse le ménisque mercuriel; on en déduira la hauteur en millimètres du mercure soulevé. Il suffit pour cela de connaître la division de l'échelle gh qui correspond au zéro de l'échelle ef. Or rien n'est plus facile que de déterminer cette correspondance sur l'appareil lui-même, ou ce qui est encore plus simple, sur les images photographiques.

Pour avoir le volume v que l'air occupe dans le tube

ef, il suffit de noter la division à laquelle correspond chaque fois le ménisque mercuriel. Avant de monter l'appareil, on doit déterminer exactement par des expériences préliminaires la capacité depuis l'extrémité *d* de la petite tubulure jusqu'au repère α, c'est-à-dire jusqu'au zéro de l'échelle, puis les capacités successivement croissantes, depuis cette extrémité *d* jusqu'à un certain nombre de divisions de cette échelle, à peu près équidistantes.

Pour cela, lorsque le manomètre n'est pas encore réuni au tube capillaire, on remplit le tube *ef* complétement de mercure, et on tourne le robinet à trois voies R de façon à ne faire écouler que le mercure du tube *ef*, la communication n'existant plus avec le second tube *gh*. On recueille, dans des petits flacons séparés, le mercure qui s'écoule ainsi jusqu'au zéro de l'échelle, puis successivement jusqu'à ce que le ménisque affleure à chacune des divisions choisies. On pèse ces quantités de mercure et l'on a ainsi tous les éléments nécessaires pour calculer, par interpolation, une table qui donnera le volume occupé par l'air dans le tube *ef* lorsque le ménisque mercuriel affleure à l'une quelconque des divisions de l'échelle :

L'équation qui donnera la température x d'après les données d'une expérience sera toujours :

$$1+(\alpha-k)x = \frac{1}{\frac{A}{H'-h'} - \frac{v'}{V}(1+\alpha t')} \qquad (1)$$

Dans les conditions que je viens d'indiquer, chaque thermomètre doit avoir un appareil photographique spécial, mais une seule lampe suffit à l'éclairage de tous, en disposant convenablement les prismes réflecteurs.

Je ne me dissimule pas que la plupart des observateurs

trouveront cette disposition bien compliquée, qu'ils seront effrayés de l'emploi du thermomètre à air que l'on considère généralement comme un instrument fragile, exposé à des dérangements fréquents. On évitera les dangers d'altération en défendant les fils capillaires de toute approche dans le champ d'expérience. Je puis dire que j'ai utilisé souvent des thermomètres à air de ce genre, et ils étaient encore en parfait état après six mois de service.

Thermomètre à liquide

Je vais maintenant décrire un thermomètre à alcool, d'une construction simple et qui satisfait à toutes les conditions que j'ai voulu imposer au thermomètre à air.

Il se compose d'un réservoir cylindrique *ab* en argent (figure 7), auquel est soudé un fil capillaire d'argent *acde* ayant la longueur nécessaire pour aller depuis le lieu où devra se trouver le réservoir *ab* jusqu'au cabinet d'observation où l'on disposera le tube mesureur *fg*.

Ce tube mesureur en verre *fg* est choisi aussi cylindrique que possible ; sa section est telle que le degré centigrade occupe une longueur de deux millimètres environ ; cette section dépend d'ailleurs de la capacité qu'on a donnée au réservoir *ab*. La difficulté consiste à faire communiquer, bien hermétiquement, le tube mesureur et le fil capillaire. La figure 8 représente la disposition que j'ai imaginée pour cela et qui a parfaitement réussi. Le fil capillaire *dei* est soudé dans une tubulure en laiton *abc*, dans laquelle le tube de verre T entre presque à frottement ; l'extrémité *i* du fil capillaire surmonte la tubulure de 1 centimètre environ. On verse dans cette tubulure une petite quantité d'une dissolution chaude, au maximum de concentration, de gomme arabique dans

l'eau. Enfin on recouvre la tubulure extérieurement avec du mastic à la résine pour donner plus de stabilité au tube de verre.

Par le refroidissement, la gomme arabique se coagule, elle adhère fortement au tube de verre et à la tubulure métallique. On verse dans le tube un peu d'alcool absolu, qu'on laisse séjourner pendant 24 heures, et qui augmente encore la solidité de la gomme, en lui enlevant son eau : On fait ensuite écouler cet alcool.

Avant d'appliquer le tube jaugeur sur la tubulure *g* figure 7, on a eu soin de remplir le réservoir *ab* d'alcool absolu, coloré en rouge pour rendre la colonne alcoolique dans le tube jaugeur aussi absorbante que possible pour les rayons photogéniques. Lorsque l'appareil est complétement monté, on ajoute de l'alcool coloré, que l'on verse par l'extrémité encore ouverte *f*; on dilate l'alcool du réservoir *ab* par la chaleur pour expulser les bulles d'air du tube capillaire, enfin on laisse dans l'appareil une quantité d'alcool telle que son niveau s'arrête à peu près au milieu du tube mesureur *fg* quand le réservoir *ab* est dans la glace fondante. On ferme à la lampe la pointe *f* de l'ampoule qui termine le tube mesureur, après avoir chauffé le réservoir assez pour que le liquide commence à s'élever dans l'ampoule. On prend cette précaution pour éviter les grands changements de pression dans le thermomètre.

Le thermomètre ainsi construit ne doit être considéré que comme un thermoscope, dont on doit faire la graduation par rapport à un thermomètre à mercure étalon. Le tube *fg* est simplement divisé en millimètres. Le réservoir *ab,* ainsi que son fil capillaire tourné en rouleau, est placé dans une cuve pleine d'eau à côté du

thermomètre à mercure étalon. On porte cette eau, successivement, aux températures + 5°, + 10°, + 15°.... et l'on note la division en millimètres à laquelle le niveau de la colonne alcoolique s'arrête dans le tube *fg*. On fait la même comparaison dans la glace fondante et même dans un mélange réfrigérant pour les basses températures. A l'aide de ces éléments on construit une courbe graphique, dont les abscisses sont les divisions en millimètres du thermomètre à alcool, et les ordonnées sont les températures du thermomètre à mercure. Il suffira donc de lire, sur l'échelle métrique du tube, le nombre de divisions auquel correspond le niveau du liquide, et de chercher la température qui y correspond sur la courbe, ou sur une table qu'on en aura déduite.

Je viens de décrire le mode de construction de l'un de mes thermomètres à alcool; mais je suppose que l'on en construira plusieurs qui devront être observés simultanément. Leurs réservoirs seront disposés dans des places très-différentes, mais leurs tubes jaugeurs seront réunis dans le cabinet d'observation, sur un même plan vertical, et on pourra les rapprocher autant qu'on le voudra. Comme les tubes jaugeurs ne portent qu'une échelle en millimètres, dont le zéro est placé dans le haut, là où le niveau de l'alcool coloré ne s'élèvera jamais pour les plus hautes températures qu'atteindront les réservoirs, il est facile de faire affleurer les zéros de toutes les échelles à l'arête inférieure d'une règle métallique, et de maintenir tous les tubes rectilignes et verticaux. Si, dans ces conditions, on réfléchit à l'aide d'un prisme, ou même d'un miroir, la lumière d'une lampe perpendiculairement au plan des tubes de manière à les traverser, qu'on place en avant, et à une distance convenablement choisie, une chambre

photographique qui donnera, sur une plaque de verre sensibilisée, une image nette de l'ensemble des tubes à un moment déterminé, on aura tout ce qu'il faut pour relever les températures marquées simultanément par les divers thermomètres.

Les échelles métriques, gravées sur les tiges, peuvent être telles qu'elles se dessinent nettement sur la plaque sensible ; on pourra alors noter chaque ménisque sur son échelle spéciale. C'est la disposition la plus convenable. Mais on peut aussi intercaler entre les tiges une règle en verre portant seule la division métrique, laquelle servira pour toutes les tiges. Cette dernière disposition sera plus facile à exécuter.

Il y aura avantage à ne produire l'image qu'au demi ou au quart de la grandeur naturelle, parce qu'alors l'image sera plus nette et qu'elle exigera moins de temps de pose. On aura toujours une précision suffisante, en relevant la position des ménisques sur la plaque à l'aide d'une petite lunette micrométrique.

Le système des thermomètres, tel que je viens de le décrire, peut servir à résoudre plusieurs questions qui n'ont pas été traitées jusqu'ici. Les réservoirs de ces thermomètres sont en argent, on peut leur donner un poli aussi grand qu'on veut, enfin on peut les recouvrir de diverses enveloppes qui modifieront le pouvoir absorbant pour la chaleur.

1° Supposons que ces réservoirs, à des degrés différents de poli, soient disposés en plein soleil, les uns à côté des autres, et que l'on note les degrés de température qu'ils marquent simultanément sous diverses radiations solaires. On connaîtra ainsi l'influence qu'un poli plus

ou moins parfait de la surface d'argent exerce sur la température.

2° L'un de ces réservoirs conservant sa surface d'argent poli, on recouvre la surface des autres de noir de fumée, de papier, de drap, etc., etc., et l'on note les températures qu'ils marquent simultanément sous la même radiation solaire. On répète ces expériences avec des radiations solaires, différentes par leur déclinaison et par le plus ou moins de pureté de l'atmosphère.

3° Enfin, on entoure l'un des réservoirs avec les feuilles des plantes au milieu desquelles on veut le placer pour des observations spéciales, et l'on cherche s'il n'est pas possible de recouvrir un autre réservoir de linge, de papier, etc., etc., de manière qu'il marque sensiblement la même température que le réservoir enveloppé par les feuilles vivantes des plantes. Il est clair que si l'on trouve une enveloppe qui produise cet effet, on pourra se servir d'un réservoir, ainsi enveloppé, pour marquer la température que la plante acquiert au soleil. Si l'on ne parvient pas à réaliser une équivalence parfaite, on choisira l'enveloppe qui s'en approche le plus, et on cherchera par l'expérience même si l'on ne peut pas ramener l'identité par une correction.

4° Jusqu'à présent il est difficile de définir, par suite de mesurer, la température qu'il convient d'inscrire quand on veut étudier l'influence de la chaleur sur le développement des plantes qui croissent à l'air libre. Est-ce la température des couches d'air dans lesquelles elles se trouvent? Dans ce cas les thermomètres doivent être à l'ombre, mais abrités par des écrans qui ne s'échauffent pas eux-mêmes par les radiations solaires. Mais la

plante ne se trouve pas dans ces conditions, puisqu'elle reçoit directement l'action des rayons du soleil.

Est-ce la température qu'indique un thermomètre placé auprès de la plante et soumis comme elles aux radiations solaires ? Mais ce thermomètre indiquera des températures différentes suivant le pouvoir absorbant de son enveloppe.

Doit-on chercher à donner à cette enveloppe un pouvoir absorbant égal à celui des feuilles, des fleurs de la plante ? Mais est-ce possible, car, sous l'influence de la chaleur, les feuilles des plantes exsudent continuellement des gaz, de la vapeur aqueuse, etc., etc. qui doivent occasionner un abaissement de sa température.

Ces questions ne peuvent pas être résolues *à priori*, mais je pense qu'à l'aide des thermomètres que je viens de décrire, on peut faire des expériences préliminaires qui en faciliteraient la solution, et qui indiqueraient certainement aux observateurs les directions nouvelles qu'ils doivent prendre.

Appareils thermoélectriques

Les appareils thermoélectriques semblent se prêter merveilleusement aux diverses conditions que je demande aux thermomètres destinés aux observations météorologiques. On peut, en effet, établir l'une des soudures dans un bassin placé dans une cave, ou dans une nappe d'eau située à une profondeur assez grande dans le sol pour que sa température soit invariable pendant l'année, tandis que l'autre soudure est placée à l'endroit dont on veut connaître la température. Le galvanomètre montre la déviation produite par la différence entre les températures

des deux soudures. La grande longueur qu'il faut donner au fil réunissant les deux soudures, est un inconvénient, car elle diminue beaucoup la sensibilité. Mais l'obstacle principal provient de l'instabilité des appareils de ce genre. Toutes les tentatives que j'ai faites dans des conditions d'installation plus sûres que celles qu'on pourrait réaliser dans des Observatoires météorologiques, ont échoué. On observe fréquemment des dérangements, tantôt momentanés, tantôt durables ; je n'ai pas réussi à les éviter, ni même à en reconnaître les causes.

Je ne pense donc pas que, dans l'état actuel de nos connaissances, on puisse recourir à des appareils de ce genre pour les Observatoires. Il serait d'ailleurs bien difficile de faire enregistrer leurs indications par la photographie.

Hygrométrie

La détermination de la quantité d'humidité qui existe dans l'air, aux différents moments, est certainement un élément important à connaître pour l'application de la météorologie à la botanique et à l'agronomie. Je n'ai rien de nouveau à ajouter à l'étude très-longue que j'ai faite, il y a 20 ans, sur les méthodes qui ont été proposées pour déterminer les fractions de saturation de l'air à un instant donné (voyez *Annales de Physique et de Chimie*, 3me série, tome XV, page 129) ; je me contenterai de résumer les conclusions auxquelles je me suis arrêté alors.

De tous les hygromètres fondés sur l'emploi des substances hygroscopiques, l'hygromètre à cheveu de Saussure est le meilleur et le plus durable. Il peut donner des indications exactes, si l'on adopte la méthode spéciale de

graduation que j'ai décrite, et si l'on a soin de vérifier, de temps en temps, que l'appareil n'a pas subi de dérangement.

Le psychromètre peut donner des résultats exacts, pourvu que l'on veille à régulariser le mouillage du thermomètre. De plus, le psychromètre doit être exposé à l'air libre, sans aucun abri qui le préserve des courants d'air. Enfin je demande que l'observateur veuille bien comparer les indications de son psychromètre, installé dans la position qu'il a choisie, avec la quantité d'humidité déterminée par la méthode chimique d'absorption de la vapeur d'eau. Quelques expériences de ce genre, faites pour des températures différentes, avec des états différents de saturation, enfin avec des vitesses variables de vent, lui fourniront les éléments nécessaires pour le calcul de la constante de la formule d'interpolation qui convient à son psychromètre dans la localité où il est placé.

L'hygromètre condenseur, avec la construction que je lui ai donnée, fournit toujours des résultats parfaitement exacts. Son maniement est facile pour un observateur qui s'y est un peu exercé. Si l'on veut s'en servir en voyage, on peut remplacer le petit aspirateur à eau qui produit le courant d'air par une disposition plus simple, plus portative, par exemple, par un ballon en caoutchouc soufflant l'air par la pression de la main.

Pendant le jour, on peut faire enregistrer par la photographie les indications du psychromètre et même celles de l'hygromètre à cheveu, mais cela est difficile pendant la nuit. Si l'on donne au psychromètre sa disposition habituelle, on n'évitera pas que la lumière de la lampe ne trouble notablement les conditions physiques de l'air

dans lequel l'instrument est placé. On évitera cet inconvénient en remplaçant les thermomètres à mercure par des thermomètres à alcool, disposés comme ceux que j'ai décrits page 223 : les tubes mesureurs, placés dans le cabinet d'observation, sont alors seuls soumis à la radiation lumineuse.

Le psychromètre ne convient pas pour les basses températures ; il est alors très-peu sensible. Enfin on ne peut plus calculer la fraction de saturation de l'air quand l'eau gèle sur la boule humide.

Je pense que l'on doit renoncer à l'emploi de ces instruments dans les Observatoires ; il est préférable de déterminer directement, par pesée, la quantité d'humidité qui existe dans l'air pendant une période donnée de temps. Comme on connaît aussi la température moyenne de l'air pendant cette période, on calculera facilement la fraction moyenne de saturation.

Je vais dire comment je pense que ces opérations doivent être conduites pour donner des résultats véritablement utiles, sans exiger une trop grande dépense de temps aux opérateurs.

Supposons un compteur à gaz, analogue à ceux que l'on emploie pour le gaz de l'éclairage. Notre compteur doit aspirer le gaz, tandis que le compteur ordinaire est poussé par l'excès de pression que le gaz de l'éclairage possède toujours dans les conduites. Mon nouveau compteur doit donc être mis en mouvement par un moteur mécanique.

Le plus simple est de produire le mouvement par la descente d'un poids, régularisée par les oscillations d'un pendule. Le moteur doit marcher au moins 12 heures

sans avoir besoin d'être remonté; cette condition n'est pas difficile à réaliser, parce que le mouvement du compteur dépense peu de force. La vitesse de rotation du compteur sera modifiée à volonté, en faisant monter ou descendre la lentille du pendule régulateur sur sa tige. Je supposerai pour le moment que cette vitesse est telle que le compteur aspire 25 litres d'air par heure. Je supposerai de plus qu'on demande à connaître la quantité moyenne d'humidité contenue dans l'air pour chaque période de 3 heures; ce qui revient à dire que l'on fera quatre déterminations en 12 heures, et par suite huit déterminations en 24 heures.

Je commencerai par décrire une opération isolée; j'indiquerai ensuite les dispositions qu'il convient de prendre pour que les opérations suivantes s'exécutent sans exiger la présence de l'opérateur.

Le compteur est placé dans le cabinet d'observation; un tube de plomb, fixé le long des parois, sort du cabinet et se termine à l'endroit où l'on veut déterminer l'humidité de l'air. C'est dans cet endroit que l'on dispose le tube en U *abc* (fig. 9) destiné à absorber l'humidité de l'air. On le relie, à l'aide de la tubulure en caoutchouc *hg*, avec le tube de plomb se terminant en *ih*.

Ce tube est rempli de pierre ponce, imbibée d'acide sulfurique concentré. La pierre ponce doit être en fragments un peu gros, au moins de la grosseur d'un pois. Lorsque les fragments sont plus fins, ils opposent trop de résistance au passage de l'air. La pierre ponce neuve, concassée en fragments et séparée de la poussière, doit être préalablement imbibée d'acide sulfurique faible, puis calcinée au rouge dans un creuset de terre. Cette

opération préliminaire est nécessaire pour décomposer quelques parties calcaires et des matières organiques qui peuvent se trouver dans la ponce.

La pierre ponce refroidie est ensuite imbibée d'acide sulfurique concentré, égouttée, puis introduite dans le tube en U. On ferme ce tube par deux bouchons, traversés par les tubes en verre recourbés *a f g* et *c d e*. Les bouchons doivent être recouverts d'un mastic à la résine fondu, pour éviter qu'ils ne puissent changer de poids par absorption ou dégagement d'humidité. Un fil métallique *f k d* permet de suspendre le tube au fléau de la balance pour le peser, et de l'attacher verticalement sur le lieu de l'expérience. Il est bon que ce tube soit contenu dans une petite caisse qui le préserve de la pluie.

On fait une pesée préliminaire du tube, en faisant la tare avec un autre tube semblable, déplaçant à peu près le même volume d'air. Cette précaution ne donne aucun embarras, puisque le même tube tare sert indéfiniment, et elle permet de ne pas se préoccuper de la petite erreur que pourrait produire, sur les deux pesées, une variation notable survenue dans la densité de l'air extérieur entre les deux pesées.

Le tube pesé étant mis en place, on fait partir le compteur et on le laisse marcher pendant trois heures ; on note le volume V d'air qu'il a aspiré : il sera ici d'environ 75 litres. Pour avoir le poids exact P de cet air, il faut noter le volume donné par le compteur, la température moyenne et la hauteur moyenne du baromètre ; mais on a ces derniers éléments par les autres inscriptions de l'Observatoire.

En pesant de nouveau le tube en U, l'augmentation de

poids qu'il aura subie représentera le poids p de la vapeur d'eau qui existe dans un poids P d'air à une température moyenne t. On prend, dans la table des forces élastiques de la vapeur d'eau à diverses températures, la force élastique f_t de la vapeur à saturation à cette température t, et l'on calcule le poids π de vapeur d'eau qui se trouverait dans le poids P d'air s'il était saturé. La fraction de saturation est alors représentée par $\frac{p}{\pi}$.

Je suppose maintenant le cas plus complexe où l'appareil doit faire *automatiquement* quatre opérations successives, chacune de trois heures, sans que l'opérateur ait besoin de s'en occuper. Je me sers alors d'un petit appareil représenté (fig. 10), que je fixe auprès du compteur. Cet appareil se compose d'un tube de laiton ABCD, fermé hermétiquement à l'une de ses extrémités AB, et portant latéralement quatre tubulures O, O', O'' et O''' équidistantes. Un second tube EF, de plus petit diamètre, et fermé à ses deux extrémités E et F, mais portant une tubulure latérale Q, s'engage dans le premier ABCD. Ce tube porte deux garnitures *ab* et *cd*, formant deux pistons à frottement doux. La tubulure Q communique, à l'aide d'un caoutchouc, avec la boîte du compteur, de sorte que l'aspiration se fait à l'intérieur du tube EF. Enfin un orifice P, pratiqué latéralement sur le tube EF, peut venir se placer successivement devant chacune des tubulures O, O', O'' et O''', pour y porter l'aspiration faite par le compteur.

Le tube piston EF est tiré constamment de E vers F par un ressort à boudin, mais l'effet de ce ressort est contrarié par l'encliquetage GH.

Chacune des tubulures O, O′, O″, O‴ communique, par l'intermédiaire d'un tube de plomb, avec un tube en U (fig. 9) chargé de pierre ponce imbibée d'acide sulfurique concentré, et exactement pesé.

Dans la première période de trois heures, le tube piston reste dans la position qu'indique la figure 10; mais lorsque les trois heures sont révolues, l'horloge fait pointer le compteur, ce qui donne le nombre de litres écoulés. Elle soulève aussi, pendant un temps très-court, l'encliquetage G H de façon à ne laisser échapper qu'une seule dent de la crémaillère M N. L'orifice P passe ainsi à la tubulure O′, et l'aspiration de l'air se fait maintenant à travers le second tube absorbant. Ces deux mouvements se réalisent facilement par l'interposition de petits électro-aimants.

Après la seconde période de trois heures, les mêmes mouvements s'accomplissent : le pointage marque le débit du compteur, la tubulure P vient se placer au devant de la troisième tubulure O″, et ainsi de suite.

Une demi-heure avant la fin de la quatrième période, l'opérateur détache le tube absorbant de la tubulure O, et le pèse. L'augmentation de poids représente le poids de l'eau absorbée. Il replace ce tube sur la tubulure O. A la fin de la quatrième période il enfonce le tube piston et le remet dans la position que représente la figure 10; l'appareil est donc disposé à continuer sa marche. Il pèse ensuite, successivement, les tubes absorbants O′, O″, O‴, et les remet aux mêmes tubulures. L'appareil peut ensuite continuer, seul, les déterminations des douze heures de nuit.

Le même tube absorbant, quand il a des dimensions

un peu considérables, peut servir pour trois ou quatre opérations successives, et même pour un plus grand nombre dans les temps froids. Il faut seulement avoir soin de présenter toujours la même tubulure *cde* à l'air arrivant.

On pourrait disposer l'appareil pour fonctionner pendant vingt-quatre heures, sans avoir besoin de le remonter et sans que la présence de l'opérateur soit nécessaire. Il suffirait pour cela d'allonger le tube ABCD, de mettre huit tubulures 0,0'...... au lieu de quatre, etc., etc. On peut aussi remplacer l'action du ressort à boudin par un poids qui descend, etc., etc..... Je me contente d'indiquer la méthode générale; chaque observateur choisira les conditions qui lui donneront le plus de facilité.

Lorsque le compteur ne doit servir que pour des expériences isolées, comme celles que le savant exécute de temps en temps, souvent en voyage, sa construction peut être très-simplifiée. Ainsi on peut remplacer l'action motrice du poids par un ressort en spirale, dont l'action sera régularisée par un volant à ailettes.

Dans un Observatoire, il peut arriver qu'on ait à sa disposition de l'eau descendant d'une certaine hauteur. On aura alors une force motrice, facile à régulariser, et qui peut être utilisée de bien des manières pour faire marcher le compteur. Un des moyens les plus simples consiste à se servir de deux compteurs accouplés, dont les deux volants à augets sont montés sur le même axe vertical. L'un de ces volants est mis en mouvement par un courant d'air régulier, qui lui est envoyé, avec un léger excès de pression, par la chute d'eau. Il fonctionne donc comme s'il faisait partie d'un compteur ordinaire à

gaz, et il entraîne dans son mouvement le volant à augets du compteur aspirant, lequel fait passer un volume égal d'air par les tubes absorbants.

Détermination de la quantité d'acide carbonique qui existe dans l'air.

L'appareil que je viens de décrire pour déterminer, par pesée directe, la quantité de vapeur d'eau qui existe dans l'air, peut donner en même temps la quantité d'acide carbonique. La détermination de cette dernière quantité présente, pour l'histoire naturelle, au moins autant d'intérêt que celle de la vapeur d'eau, d'autant plus que, jusqu'à présent, on n'a fait sur ce sujet que quelques observations isolées, qui ne sont guère comparables.

Pour absorber l'acide carbonique de l'air, j'emploie des tubes en U, comme celui qui est représenté par la figure 9; seulement je remplis l'une des branches *bc* avec de la pierre ponce imbibée d'une dissolution moyennement concentrée de potasse caustique, et l'autre branche *ab* de fragments de potasse caustique fondue. La dissolution de potasse absorbe surtout l'acide carbonique; la potasse en fragments arrête ce qui a pu lui échapper et retient en même temps la vapeur d'eau que la dissolution alcaline peut abandonner à l'air sec.

Le tube alcalin est fixé, par sa branche *ab*, au tube de plomb qui communique aux tubulures $0, 0', 0'', 0'''$. A la branche *bc* est adapté le tube desséchant à ponce sulfurique. L'air aspiré par le compteur abandonne donc d'abord sa vapeur d'eau au tube à ponce sulfurique, puis son acide carbonique au tube alcalin. L'opération se conduit d'ailleurs comme nous l'avons dit page 233.

La quantité d'acide carbonique qui existe dans une même localité varie certainement suivant les saisons, mais nous n'avons encore que bien peu d'expériences précises sur ce sujet. Elle n'est probablement pas la même le jour que la nuit, surtout dans la saison où la végétation est très-active. Cette quantité peut varier suivant la direction et la force du vent ; enfin elle peut être très-différente dans les divers climats. Il serait notamment très-intéressant de comparer la quantité qu'on en trouve sur les très-hautes montagnes, à celle qui existe simultanément dans les vallées ou dans les plaines peu éloignées. Quelques expériences ont déjà été faites dans cette direction, mais elles ne sont ni assez nombreuses, ni assez précises, pour qu'on puisse en déduire une conclusion certaine.

Comme la quantité d'acide carbonique existant dans l'air est toujours fort petite, on peut augmenter le débit du compteur aspirant, le porter à 50 litres par heure au lieu de 25 litres.

RECHERCHES

SUR LA

CONDENSATION DE LA VAPEUR AQUEUSE DE L'AIR

AU CONTACT DE LA GLACE

ET SUR L'ÉVAPORATION

PAR

Ch. DUFOUR & F.-A. FOREL

Professeurs à Morges.

Les glaciers ont déjà fait le sujet de nombreuses recherches scientifiques relatives à la théorie du glacier considéré en lui-même, ou se rapportant à l'ancienne extension des glaciers au commencement de l'époque quaternaire. Ainsi l'on a étudié attentivement l'origine et la formation des glaciers, leur mode de progression et la cause de leur avancement, la valeur de l'ablation, les moraines, etc.

Mais il est un point de vue qui a été trop négligé et qui est cependant d'une assez grande importance : c'est l'hygrométrie du glacier. C'est l'influence du glacier sur l'atmosphère environnante, et les conséquences qui résultent au point de vue hygrométrique de la présence, pendant l'été, d'une surface considérable dont la température ne s'élève jamais au-dessus de 0°, tandis que les corps voisins se réchauffent plus ou moins en même temps que l'air dans lequel ils sont placés.

MM. les professeurs Ch. Dufour et F.-A. Forel, de Morges, ont pensé que la grande étendue des glaciers devait avoir une influence assez prononcée sur l'humidité

de l'air. En effet, le glacier doit être souvent dans les mêmes conditions que les vitres de nos appartements en hiver, qui, lorsqu'elles sont plus froides que l'air intérieur, se couvrent d'une abondante couche de rosée, ou encore que la surface des carafes d'eau froide qui se ternissent de la même manière. Un glacier est une vitre immense sur laquelle la rosée doit se déposer en fort grande quantité quand les conditions hygrométriques de l'atmosphère sont convenables. C'est pour étudier ce sujet, que, dans l'été de 1870, MM. Dufour et Forel ont été passer quelque temps sur le glacier du Rhône ; ils y ont fait des observations qu'ils ont publiées avec détails dans le Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles, année 1870.

Dans leur mémoire, MM. Dufour et Forel rappellent d'abord les principes de physique relatifs à l'évaporation de l'eau et à la condensation de la vapeur, puis ils continuent, de la manière suivante, l'exposé de leurs recherches à ce sujet.

Si nous étudions les conditions hygrométriques et thermométriques de notre vallée du Léman, nous trouvons que le lac est presque constamment dans les conditions de l'évaporation, et très-rarement dans celles de la condensation. En effet, si nous prenons les moyennes de température de l'air et son humidité absolue telles qu'elles nous sont données par les observations météorologiques de Genève, et si nous les comparons avec les moyennes de température du Rhône, à sa sortie du lac, à Genève (nous avons fait ce travail pour les moyennes calculées de 1826-1867, soit 42 années), nous trouvons que la température de saturation de l'air est toujours au-dessous de la température de la surface de l'eau, et cela

d'une quantité fort sensible. C'est au mois de mai et de juin que ces deux valeurs se rapprochent le plus, le lac est encore de 3° plus chaud que la température de saturation de l'air. A partir du commencement de juillet elles commencent à s'éloigner, pour s'écarter au maximum à la fin de décembre; le lac est alors de près de 8° plus chaud que la température de saturation de l'air. Ces deux valeurs restent encore fort éloignées jusqu'au mois d'avril, où elles commencent à se rapprocher. Telle est la marche des températures et valeurs hygrométriques moyennes; mais en réalité il n'en est pas tout à fait de même. Il arrive parfois qu'un jour très-humide élève assez le point de saturation de l'air, pour que celui-ci atteigne et dépasse la température de la surface des eaux; il y a alors condensation à la surface du lac. Mais ce cas est assez rare; nous avons fait, pour l'année 1867, le relevé des jours où les conditions de la condensation se sont trouvées réalisées et nous n'en avons trouvé que 21. Pendant 344 jours le lac a donc dû évaporer.

Supposons maintenant que la température du lac soit constante et fixe à 0°, au lieu d'être variable et d'osciller comme elle le fait entre 4°,4 et 18°,7 dans ses moyennes, entre 0° et 24° et 25° dans ses extrêmes. Supposons, en même temps, que les conditions hygrométriques de l'air restent ce qu'elles sont actuellement, les relations vont bien changer. Pendant 3 $^1/_2$ mois seulement la température moyenne de saturation de l'air est inférieure à 0° (du commencement de décembre au milieu de mars); pendant 3 $^1/_2$ mois il y aurait donc évaporation. Mais pendant 8 $^1/_2$ mois la température moyenne de saturation de l'air est au-dessus de 0°, le maximum arrivant à la fin de juillet par 12°,4; pendant 8 $^1/_2$ mois les con-

ditions de la condensation seraient donc remplies, et pendant ce temps une quantité considérable de vapeur d'eau devrait se condenser sur cette surface. Si donc, au lieu du lac Léman, nous avions un glacier au fond de notre vallée, les fonctions hygrométriques de l'air seraient notablement altérées, et au lieu d'avoir comme action normale l'évaporation, nous serions presque constamment dans les conditions de la condensation.

Laissons ce glacier hypothétique et transportons-nous sur les véritables glaciers, sur les champs de neige et de glace de nos hautes Alpes. Nous y trouverons des conditions analogues. Il est vrai que dans les grandes altitudes l'air est plus froid, par conséquent il peut contenir moins d'humidité, et sa température de saturation est plus basse. Mais nous y trouvons aussi ces surfaces immenses qui, par leur nature même, ne peuvent s'élever au-dessus de 0°, et ceci doit influer d'une manière très-sensible sur la fréquence relative des phénomènes de condensation et d'évaporation. Sur les surfaces glacées des neiges éternelles, la condensation doit être beaucoup plus fréquente que sur les surfaces liquides des lacs de nos plaines.

C'est pour constater cette condensation de la vapeur d'eau à la surface de la glace, et pour en déterminer si possible la valeur, que nous avons institué quelques expériences directes dont nous allons donner la description. Nous exposerons d'abord la méthode expérimentale que nous avons établie, à la suite d'une première série d'expériences faites à Morges, dans le printemps de 1870.

La première expérience, par laquelle nous avons démontré la condensation de la vapeur d'eau à la surface de la glace, est du 5 mars 1870.

Expérience I. — A 2 $^1/_2$ h. après midi, nous remplissons de neige un plat circulaire de 20 centimètres de diamètre, et, le pesant avec la neige qu'il contenait, nous lui trouvons un poids de 711 grammes. Au bout d'une heure d'exposition en plein air, la neige était en partie fondue, et la balance donnait un poids de 714 grammes, accusant ainsi une augmentation de poids de 3 grammes.

Expérience II. — Un second vase circulaire de 18 centimètres de diamètre, rempli d'un mélange de neige et de sel, a été exposé en plein air pendant le même temps et dans les mêmes conditions. Il pesait au début de l'expérience 672 grammes, à la fin de l'opération 677 grammes.

Il s'était donc condensé à la surface de la neige 5 grammes d'eau.

Deux observations psychrométriques faites pendant cette expérience, ont donné comme état hygrométrique moyen de l'air :

Température de l'air.	10°,3
Humidité absolue.	6^{mm},36
Humidité relative	0^{mm},68
Température de saturation. . . .	4°,4

D'après cette expérience la condensation a lieu dans des proportions assez fortes pour être facilement appréciable à la balance ; c'est donc la balance qui nous servira pour ces recherches.

Nous avons répété cette expérience 23 fois à Morges, la variant chaque fois et en perfectionnant chaque fois le manuel opératoire. Voici le mode d'expérimentation que nous avons en définitive adopté :

Nous avons fait faire des bassins circulaires de cuivre, de 16 centimètres de diamètre et 7 centimètres de profondeur; leur fond aplati permet de les poser d'une manière stable sur le sol. Leur surface supérieure est d'environ 200 centimètres carrés, et ils peuvent contenir 1300-1400 grammes d'eau.

Nous les remplissons jusqu'au bord de glace concassée ou de neige (dans nos expériences la quantité de glace a varié de 700 à 1000 grammes), et nous les pesons exactement.

Nous exposons ces bassins pleins de glace à l'air libre pendant un temps plus ou moins long, une demi-heure, une heure, deux heures, en notant exactement le moment du début et de la fin de l'expérience. Puis nous pesons de nouveau. Le poids total de la glace non fondue et de l'eau de fusion s'est accru s'il y a eu condensation, s'est diminué s'il y a eu évaporation; la différence entre les pesées indique la valeur de cette action, et un simple calcul nous permet de transformer la valeur ainsi obtenue en la rapportant à une surface d'un mètre carré ou d'un kilomètre carré, ou encore en hauteur d'eau répandue à la surface de la glace.

Nous avons soin d'essuyer attentivement, au moment de la seconde pesée, la surface extérieure du bassin, laquelle, lorsqu'il y a condensation, est recouverte d'une abondante couche de rosée. La valeur de cette rosée est trop irrégulière pour pouvoir être considérée comme constante et trop importante pour être négligée. En enlevant à l'aide d'un linge cette couche de rosée, nous supprimons cette cause d'erreur et nous n'avons plus à considérer, comme surface condensatrice que la surface supérieure de la glace.

Voici, comme exemple, l'une de ces expériences :

Le 31 mai 1870, à huit heures du matin, par un temps calme, dans un jardin au bord du lac, à Morges, nous trouvons en 28 minutes un dépôt de 3,70 grammes d'eau sur un plat de 200 centimètres carrés, cela fait 390 grammes d'eau par heure et par mètre carré, ce qui correspond à une couche aqueuse de $0^{mm},390$ d'épaisseur. Pendant ce temps :

La température de l'air était de . . .	$16^{\circ},1$
L'humidité absolue de	$11^{mm},7$
L'humidité relative de	$0^{mm},85$
La température de saturation	$13^{\circ},7$

D'autres expériences nous ont donné ensuite 330, 360 et 570 grammes d'eau par heure et par mètre carré de surface de glace.

Ces expériences montrent que le phénomène de la condensation peut avoir une grande intensité. La moyenne de ces quatre expériences donne, comme valeur horaire de la condensation, $0^{mm},410$, autrement dit, 410 grammes d'eau par heure et par mètre carré de surface glacée, ou encore, 410 mètres cubes d'eau par heure et par kilomètre carré de glacier.

Il est vrai que les conditions hygrométriques et thermométriques sont autres sur un glacier que dans un jardin situé au bord du lac Léman ; il est vrai que sur les neiges éternelles la température de l'air ne monte presque jamais à 16°, et surtout l'humidité absolue à 11^{mm} de tension. Quoi qu'il en soit, le phénomène était intéressant, et nous avons résolu d'aller l'étudier et le poursuivre sur les glaciers eux-mêmes.

Notre intention était de déterminer, si possible, par des

expériences directes faites sur le glacier, la valeur et l'importance du phénomène de la condensation de la vapeur d'eau de l'air. Entendues comme nous les avons faites, ces recherches étaient nouvelles.

En effet, si d'autres physiciens ont abordé l'étude du phénomène de la condensation, ou bien ils l'ont fait à une époque où les lois de l'hygrométrie n'étaient pas assez vulgarisées pour qu'ils aient pu en tirer toutes les conséquences désirables, ou bien ils n'ont pas pu faire et n'ont pas fait les expériences directes que nous avons entreprises.

Hugi [1] a, le 4 janvier 1832, sur le glacier de Grindelwald, commencé des expériences à l'aide de la balance, pesant des blocs de glace qui tantôt augmentaient de poids, tantôt diminuaient; c'était pendant la nuit que ses blocs de glace augmentaient de poids, et, par conséquent, condensaient la vapeur, pendant le jour, qu'ils diminuaient, évaporaient par conséquent. Mais l'absence d'observations psychrométriques qui auraient permis de rapporter ces phénomènes à l'état hygrométrique de l'air, l'impossibilité où nous sommes de rapporter à une unité de surface les valeurs en poids qu'Hugi donne dans ses expériences, nous empêchent d'utiliser ces recherches d'une manière pratique. — Quand du reste, Hugi n'est pas trop préoccupé de ses idées sur la respiration du glacier, ses théories hygrométriques sont assez justes [2].

En 1840, le chanoine Rendu, depuis évêque d'Annecy, dans sa théorie des glaciers de la Savoie, s'occupa attentivement des phénomènes de condensation à la surface des neiges et des glaces. Il ne fit pas d'expériences

[1] *Hugi*, Das Wesen der Gletscher. Stuttgardt, 1842, p. 20-22.
[2] *Hugi*, Die Gletscher und die erratischen Blœcke. Solothurn, 1843.

directes, mais certainement il exagère la valeur du dépôt de la vapeur d'eau en l'estimant à une couche de 30 pouces par an [1]. Son erreur vient probablement de la fausse interprétation qu'il donne au principe physique de la condensation; il croit que toute la vapeur contenue dans l'air doit se condenser à la surface d'une vaste étendue de neige, comme le Mont-Blanc, tandis que nous avons vu que, lorsqu'il y a condensation, ce n'est que l'excès de vapeur d'eau au-dessus du point de saturation de l'air à la température de la glace, qui peut se précipiter sur celle-ci.

Agassiz, dans ses nouvelles études sur les glaciers actuels, en 1847, expose d'une manière très-juste, très-précise et très-claire la théorie hygrométrique de la condensation et de l'évaporation à la surface du glacier; il conclut que ces deux phénomènes doivent probablement se contre-balancer et que l'un doit rendre au glacier la vapeur d'eau que l'évaporation lui enlève. Toujours est-il qu'il n'a pas cherché à apprécier directement la valeur de ces phénomènes. Il est vrai que l'hôtel des Neuchâtelois, situé sur le glacier de l'Aar, à 2400 mètres au-dessus de la mer, était dans des conditions hygrométriques peu favorables au phénomène de la condensation; le point de saturation de l'air était, vu la hauteur de la station, bien rapproché de zéro, et des expériences sur la condensation auraient donné des résultats bien moins évidents que ceux que nous avons pu obtenir dans une station moins élevée.

Nous avons trouvé une excellente station d'expérimentation au glacier du Rhône, où nous avons été nous

[1] *Rendu*, Théorie des glaciers de la Savoie. Chambéry, 1840, p. 27.

établir le 26 juillet 1870. Nous y avons rencontré des conditions particulièrement favorables ; un hôtel de premier ordre joignant au confort, qui n'est point à dédaigner même dans les hautes régions, l'accueil gracieux et prévenant de l'hospitalité valaisanne ; le passage régulier des postes fédérales et le télégraphe qui nous permettaient de communiquer avec la plaine, et au besoin de nous procurer appareils et instruments ; un splendide glacier dont l'abord est partout aisé et dont la surface peu déchirée permet presque partout une circulation facile, situé à quelques centaines de mètres de l'hôtel ; toutes ces conditions réunies font du glacier du Rhône une excellente station d'observation et d'expérimentation pour des études comme celles que nous entreprenions, et nous ne saurions assez la recommander aux physiciens et aux glaciologues, du moins pour toutes les expériences qui n'exigent pas la présence ou l'existence des moraines superficielles. Celles-ci ont toutes disparu, en effet, dans le glacier inférieur, bouleversées qu'elles ont été avec le glacier lui-même dans la cascade de glace qui sépare le glacier supérieur du glacier inférieur.

Nous avons commencé par établir, en arrivant, une station d'observations météorologiques, à l'hôtel du glacier du Rhône, par une altitude de 1760 mètres. Il importait pour nous d'avoir un point de comparaison établissant au dehors du glacier les conditions thermométriques et hygrométriques du vallon dans lequel nous allions opérer.

Nous avons fait dans cette station 85 observations météorologiques à toutes les heures du jour et de la nuit.

Nous avons ensuite été choisir une station d'expérimentation sur le glacier ; nous l'avons cherchée dans un

point suffisamment rapproché de l'hôtel et de la cabane du gardien de la grotte pour que nous pussions y trouver un refuge en cas de tempête, suffisamment au centre du glacier pour que nous fussions bien réellement dans l'atmosphère glaciaire. Nous avons été nous établir au centre de figure de la partie inférieure de la *coquille* du glacier du Rhône, à 260 mètres de la rive gauche, à 240 mètres de la rive droite, à 240 mètres du front du glacier et par une altitude de 1810 mètres environ.

Si nous n'avons pas été plus haut sur le glacier, c'est que nous avions, pour nos opérations, le besoin d'avoir sous la main des pierres et que, cette année du moins, les pierres n'apparaissaient pas plus haut à la surface du glacier. Il importait, pour l'exactitude de nos pesées, que notre balance fût à l'abri du vent. Nous avions d'abord eu le projet de construire sur le glacier une cabane, où nos instruments et nous-mêmes aurions trouvé abri et refuge contre le vent, le soleil et la pluie; mais une fois sur place, l'absence à peu près complète, à la surface du glacier, des matériaux nécessaires à cette construction, nous fit abandonner ce dessein et nous dûmes songer à nous tirer d'affaire autrement. Après quelques recherches, nous trouvâmes heureusement une large crevasse de 4 à 5 mètres de profondeur, dont une des parois était verticale, et dont l'autre était assez doucement inclinée pour qu'il fût facile, à l'aide de quelques coups de hache, d'y tailler un chemin praticable. Nous creusâmes avec le pic, dans la paroi verticale, une petite grotte ou niche de dimensions suffisantes pour recevoir notre balance, et en fixant au moyen de quatre clous un châle sur l'entrée de cette niche, nous pûmes, protégés comme par la voile des photographes, opérer tranquillement nos pesées parfaite-

ment à l'abri du vent. Les tables, chaises, supports et autres meubles nécessaires, furent bientôt sculptés à coups de hache dans les parois de glace de notre crevasse, et nous eûmes ainsi, à peu de frais et avec peu de peine, une installation aussi pratique que commode pour les opérations que nous avions à entreprendre.

Pour établir solidement le thermomètre sur le glacier, et pour le mettre facilement à l'ombre, nous avons fait construire un trépied très-simple, très-portatif et très-commode. Nous nous permettons de le recommander aux personnes qui pourraient être dans le cas de faire des recherches analogues aux nôtres. Il se compose simplement de trois minces tiges de fer, longues de 45 centimètres et réunies par un anneau. Pour les transports, ces fiches se réunissent et occupent une place insignifiante; pour les expériences, on écarte ces trois tiges de manière à donner à l'instrument la forme d'un tétraèdre.

Une seconde pièce en forme d'étoile à trois branches est alors engagée au milieu de ce tétraèdre, de manière à prévenir l'écartement des fiches si l'une d'elles est exposée à glisser; enfin le thermomètre est attaché d'une part à l'anneau de fer qui réunit les fiches, et d'autre part on l'attache au moyen d'une ficelle au point central de l'étoile. De cette manière, le tout présente un haut degré de solidité, et nous avons constaté plusieurs fois que par de forts coups de vent ce système n'éprouvait pas la moindre oscillation.

Pour préserver le thermomètre des rayons du soleil, nous avions une plaque en fer-blanc, recourbée de manière à ce que son angle dièdre fût égal à l'angle obtus que devait faire avec un plan horizontal une des faces du tétraèdre, lorsque celui-ci était mis en expérience. Sur le

glacier du Rhône, où l'air était toujours assez vif et où nous n'avons jamais eu du reste un soleil bien ardent, nous avons pu constater que cette plaque ne s'échauffait nullement, et, par conséquent, elle ne modifiait pas la température du thermomètre qu'elle devait protéger. Et si nous avions pu craindre qu'elle rayonnât un peu de chaleur, nous aurions toujours pu obvier à cet inconvénient en l'aspergeant avec un peu d'eau du glacier.

Nous allons donner en tableau le résumé des expériences de pesées de glace que nous avons faites à cette station; nous les établirons en série suivant la température moyenne de saturation de l'air. Nous indiquons l'état thermométrique et hygrométrique de l'air d'après la

Expérience n°	DATE	HEURE du début de l'expérience.	DURÉE de l'exposition en minutes.	Température de l'air.	HUMIDITÉ		Température de saturation	Valeur horaire de la condensation.
					relat.	absol.		
				C.		mm	C.	mm
VII	27 juill.	4,15 s.	10	7,8	0,75	5,9	3,5	0,360
VIII	—	8,15 m.	75	4,7	0,87	5,8	2,9	0,158
IX	—	8,05 m.	80	4,7	0,88	5,8	2,9	0,214
X	3 août	9,29 m.	68	6,4	0,76	5,5	2,7	0,188
XI	—	9,29 m.	68	6,4	0,76	5,5	2,7	0,067
XII	27 juill.	9,35 m.	55	4,7	0,85	5,5	2,5	0,125
XIII	—	9,40 m.	65	4,8	0,82	5,4	2,3	0,106
XIV	3 août	8,12 m.	48	7,2	0,71	5,4	2,3	0,059
XV	—	8,12 m.	48	7,2	0,71	5,4	2,3	0,056
XVI	28 juill.	3,07 s.	68	6,7	0,72	5,3	2,0	0,106
XVII	29 —	2 55 s.	50	8,6	0,63	5,3	2,0	0,078
XVIII	28 —	3,03 s.	74	6,7	0,72	5,3	2,0	0,064
XIX	30 —	8,25 m.	100	6,9	0,68	5,1	1,3	0.115
XX	—	8,10 m.	110	6,9	0,68	5,1	1,3	0,062
XXI	1 août	3,35 s.	70	10,8	0,53	5,1	1,2	0,140
XXII	28 juill.	8,00 m.	50	4,0	0,82	5,1	1,2	0,093
XXIII	—	8,50 m	50	4,4	0,80	5,0	1,1	0,111
XXIV	29 —	1,25 s.	80	6,9	0,66	4,9	1,0	0,144
XXV	28 —	9,45 m.	35	4,2	0,78	4,9	1,0	0,055
XXVI	1 août	1,55 s.	75	9,9	0,53	4,8	0,6	0,064
XXVII	—	1,50 s.	90	9,9	0,53	4,8	0,6	0,051

moyenne des observations faites de quart d'heure en quart d'heure pendant l'exposition de la glace à l'air. Quant à la valeur horaire de la condensation, nous l'exprimons en fraction de millimètre de hauteur d'eau précipitée à la surface de la glace, un millième de millimètre représentant un gramme d'eau par mètre carré, ou un mètre cube par kilomètre carré.

Nous avons mis en série ces expériences d'après la hauteur moyenne du point de saturation de l'air, car théoriquement, c'est d'après sa plus ou moins grande élévation au-dessus de zéro que la condensation doit être plus ou moins forte, et effectivement, on voit bien que la quantité de vapeur condensée augmente avec la quantité d'humidité qui se trouve dans l'air. Cependant, cette série est trop irrégulière pour qu'il soit possible de la mettre en courbe.

Abstraction faite des erreurs d'observation, ces irrégularités peuvent provenir de trois causes :

1° La plus ou moins grande agitation de l'air.

2° L'inconstance prodigieuse de l'état thermométrique et psychrométrique de l'air à la surface du glacier. Chaque bouffée d'air, et l'on sait combien rarement l'air est calme dans ces parages, chaque souffle de vent fait sauter les thermomètres dans un sens ou dans l'autre avec une rapidité et une variabilité étonnantes. Or suivant le moment où nous faisions l'observation psychrométrique, nous obtenions souvent une valeur fort anormale de l'état hygrométrique de l'air.

3° L'irrégularité des fragments de glace, de manière qu'il pouvait fort bien arriver que d'une expérience à l'autre, il y ait eu une différence dans la grandeur de la surface gelée que nous exposions à l'air.

Quoi qu'il en soit, en faisant abstraction des irrégularités dues à l'action du vent, à l'inégalité de la surface de la glace et à l'observation de l'état hygrométrique de l'air, en faisant abstraction des erreurs d'observation, nous constatons d'une manière générale :

1° Que la condensation de la vapeur d'eau à la surface de la glace augmente de valeur à mesure que le point de saturation de l'air est plus élevé au-dessus de zéro.

2° Que la valeur de cette condensation est assez considérable.

Dans le phénomène de la condensation nous avons trois temps principaux à considérer :

1° La quantité de vapeur d'eau condensée;

2° Le dessèchement de l'air en contact avec la glace ;

3° L'effet de la chaleur latente dégagée par la condensation.

Reprenons successivement ces trois points de vue :

1° La quantité d'eau condensée à la surface du glacier est considérable ; nous ne pouvons pas nous hasarder à fixer en chiffres définitifs la valeur de cette condensation, mais nous croyons rester au-dessous de la vérité en estimant sa valeur horaire à environ :

$0^{mm},050$	quand le point de saturation	de l'air est à	$+1°$
$0^{mm},100$	id.	id.	$+2°$
$0^{mm},150$	id.	id.	$+3°$

Or, une condensation dont la valeur horaire est de $0,150^{mm}$ signifie que, pendant une heure, il s'est déposé en eau à la surface du glacier 150 grammes d'eau par mètre carré, 150 mètres cubes par kilomètre carré.

C'est un dépôt considérable. Si nous supposons un vent chaud amenant au contact des neiges de tout le bas-

sin du Rhône, de l'air dont la température de saturation moyenne serait à $+3^{\circ}$ (à une tension $5{,}69^{mm}$), nous aurions par la condensation un dépôt considérable d'eau. La surface des neiges éternelles et glaces du bassin du Rhône est d'environ 1000 kilomètres carrés, nous aurions donc un dépôt horaire de 150,000 mètres cubes, et en vingt-quatre heures 3,600,000 mètres cubes, soit le $\frac{1}{7}$ du débit moyen du Rhône, à Genève.

La condensation directe de la vapeur d'eau à la surface des glaciers est donc un facteur important de l'alimentation des fleuves, et mérite à ce point de vue d'être prise en sérieuse considération.

2° La condensation de la vapeur d'eau dessèche l'air, et cela d'une manière notable. Sans nous arrêter à la sécheresse bien connue de la région des neiges éternelles, sans insister sur la rapidité de la dessication des habits mouillés et des aliments que tous les ascensionnistes ont constatée, sur le peu d'abondance des sécrétions, sur la fréquence et l'intensité des érythèmes et coups de soleil dans les hautes régions, nous prouverons ce dessèchement de l'air directement par nos observations.

A la surface du glacier l'air était beaucoup plus sec qu'à l'hôtel du glacier du Rhône, quoique ces deux stations soient fort rapprochées l'une de l'autre (900 mètres environ), et, par conséquent, soumises aux mêmes influences générales.

Il résulte de 85 observations faites à l'hôtel du glacier du Rhône, du 27 juillet au 4 août 1870, à toutes les heures du jour et de la nuit, que la moyenne d'humidité relative a été de $7{,}5^{mm}$ ou 7,95 grammes de vapeur d'eau par mètre cube.

Il résulte de 90 observations faites dans la même

série de jours, sur le glacier du Rhône, entre huit heures du matin et cinq heures du soir, que la moyenne d'humidité absolue y a été de 5,1^{mm} ou 5,41 grammes par mètre cube d'air.

La différence d'humidité en faveur de l'air de l'hôtel a donc été de 2,54 grammes par mètre cube ; l'air était de 32 pour cent plus sec sur le glacier du Rhône qu'à l'hôtel.

Le détail des observations montrera encore mieux ce fait. Nous indiquerons dans le tableau suivant, pour chaque expérience, la valeur moyenne de l'humidité absolue sur le glacier, et pour l'humidité de l'air à l'hôtel, les deux observations qui précèdent et suivent immédiatement l'expérience.

DATE	HEURE	HUMIDITÉ ABSOLUE DE L'AIR			
		sur le glacier.		à l'hôtel.	
		Nombre des observations	Moyenne.	Avant l'expérience.	Après l'expérience.
			mm	mm	mm
27 juill.	8,15 m. à 10,45 s.	10	5,57	7,58	8,37
27 —	4,20 s.	1	5,92	8,61	7,62
28 —	8,50 m. à 10,30 m.	6	5,07	6,63	8,00
28 —	3,30 s. à 5,35 s.	10	5,16	7,73	7,48
29 —	1,45 s. à 3,50 s.	11	5,05	8,37	8,33
30 —	8,30 m. à 10,15 m.	8	4,99	7,00	8,28
1 août	11,45 m. à 4,30 s.	19	4,62	5,96	6,11
3 —	8,00 m. à 10,36 m.	19	5,43	7,02	9,79

Si nous tirons de ce tableau les moyennes diurnes de tension de la vapeur d'eau, nous aurons :

Sur la surface du glacier . . . . . 5^{mm},23.
A l'hôtel du glacier du Rhône . . . 7^{mm},67.

Ces chiffres montrent bien l'état de sécheresse remarquable de l'air à la surface du glacier.

D'autres observations faites au-dessus de la cascade de glace du glacier du Rhône, nous donnent le même résultat.

La moyenne de six observations faites le 2 août, entre onze et deux heures du jour, au milieu du glacier, par une altitude de 2350 mètres environ, nous donnent pour la tension de la vapeur d'eau de l'air $4{,}18^{mm}$.

Une observation faite le même jour à 2 heures 50, dans une prairie à quelques cents mètres du glacier et à la même altitude, nous donne pour la tension de la vapeur d'eau de l'air $5{,}91^{mm}$.

Le calcul nous amène du reste au même résultat et nous montre l'action desséchante du glacier sur la couche d'air qui l'environne.

Pendant notre expérience n° VIII, du 27 juillet, nous avons eu une condensation dont la valeur horaire a été de $0{,}158^{mm}$, soit 158 grammes d'eau par mètre carré. La température moyenne de l'air étant de $4°{,}75$, ces 158 grammes auraient été contenus dans 23,6 mètres cubes d'air, si cet air avait été saturé et avait pu livrer toute son humidité.

Mais l'air n'était qu'à 0,87 d'humidité relative. Puis la quantité de vapeur d'eau déposée par la condensation, n'était que la quantité excédant la quantité de vapeur contenue à saturation par l'air à 0°.

L'air aurait été saturé à $+ 2°{,}9$. Or,

à 0°	un mètre cube d'air peut contenir		4,878	gr. d'eau.
à $+2°{,}9$	id.	id.	5,889	»

Donc chaque mètre cube d'air pouvait laisser déposer au maximum 1,011 grammes d'eau.

Donc pour 158 grammes il a fallu l'excès de vapeur contenu dans 156 mètres cubes d'air, en admettant que tout cet air était dans les mêmes conditions hygrométriques que celui qui léchait la surface du glacier.

Le même calcul nous donne pour l'expérience n° XIII, du 27 juillet, à 9 heures 35 du matin :

Température de l'air	4°,7
Humidité relative.	0°,85
Humidité absolue.	5mm,5
Température de saturation	2°,5
Valeur horaire de la condensation . . .	0mm,125
Épaisseur de la couche d'air desséchée.	146 mètres.

Mais, si au lieu de considérer l'état hygrométrique de l'air à la surface du glacier, nous prenons comme air normal l'état hygrométrique de l'atmosphère avant et après l'expérience à l'hôtel du glacier du Rhône, nous trouverons qu'il a suffi d'une couche d'air beaucoup moins forte pour fournir la condensation que nous avons constatée.

Le 27 juillet, à l'hôtel du glacier du Rhône, nous avions l'état hygrométrique suivant :

Heure.	Température de l'air.	Humidité relative.	Humidité absolue.	Température de saturation.
8 h. 00 m.	10,6	0,79	7,58	7,2
11 h. 50 m.	15,3	0,64	8,37	8,6
Moyennes,	12,9	0,71	7,97	7,9

En calculant, comme nous venons de le faire, le volume d'air qui, dans ces conditions, a pu livrer les 158 grammes d'eau de l'expérience n° VII, nous trouvons qu'il a suffi de 44 mètres cubes d'air. Si donc, nous supposons l'air tel qu'il était à l'hôtel du glacier du Rhône, trans-

porté sur la surface du glacier, il aurait fallu qu'une couche de 44 mètres de hauteur eût livré, pendant cette heure, tout son excès d'humidité, pour fournir à la condensation que nous avons observée.

Il nous a paru intéressant de prouver directement l'action desséchante de la glace sur l'atmosphère, quand celle-ci se trouve dans des circonstances hygrométriques convenables, c'est-à-dire quand la tension de la vapeur y excède 4,60^{mm}.

A cet effet, le 14 janvier 1871, à Morges, dans une salle dont la température était de 12°,5, nous avons pris un vase cylindrique en verre, qui avait 13 centimètres de diamètre et 20 centimètres de hauteur, et qui contenait par conséquent 2,65 litres. Une planche fut placée comme couvercle, et, à cette planche, furent suspendus deux thermomètres pour faire psychromètre, et un petit linge mouillé ; un linge pareil, coupé au même morceau et en apparence mouillé à un degré égal, était placé ailleurs dans la salle. Au fond de la cloche de verre nous plaçâmes des morceaux de glace, qui formaient une couche épaisse de 2 centimètres à peu près.

Voici l'état hygrométrique de l'air contenu dans le vase de verre, à partir de 11 heures 10 minutes, heure du début de l'expérience :

Heure.	Thermomètre		Humidité	
	sec.	humide.	absolue.	relative.
11,10	12°,4	12°,3	10,60	0,99
11,35	9°,8	9°,7	8,92	0,99
12,00	7°,2	5°,7	5,98	0,79
12,45	7°,0	4°,9	5,26	0,70

La diminution de la quantité d'humidité est évidente, surtout par la diminution de la tension de la vapeur. Elle est

sensible même sur l'humidité relative ; et cependant à mesure que la température baissait dans la cloche par le voisinage de la glace, l'humidité relative aurait dû augmenter, si la quantité de vapeur, qui y était contenue, était restée la même.

Quant au linge placé dans le vase de verre, à 12 heures 45 minutes, bien que, encore un peu humide, il était cependant beaucoup plus sec que celui qui était resté suspendu dans la salle.

Nous exprimons donc bien la réalité en attribuant au glacier une puissante action de dessèchement de l'air. Les glaciers et les neiges éternelles agissent, par rapport à l'humidité de l'air des régions avoisinantes, comme pourraient le faire d'immenses éponges imbibées d'acide sulfurique ou des montagnes de chaux vive. Cette comparaison n'est cependant pas parfaitement exacte, car le glacier ne dessèche pas indéfiniment l'air ; il ramène l'humidité absolue à $4^{mm},60$, tension de la vapeur d'eau à 0°. Mais comme cette valeur est, relativement à l'état hygrométrique moyen de l'air, une faible quantité d'humidité absolue, c'est bien une action générale desséchante qu'ont en définitive la glace et la neige de nos Alpes.

3° Le troisième point de vue que nous devons envisager dans la question de la condensation de la vapeur d'eau sur la glace, c'est la chaleur latente. Il y a, dans le changement d'état de la vapeur en eau, dégagement d'une quantité considérable de chaleur latente, à savoir d'une quantité 7,67 plus forte que celle qui suffirait à faire fondre le même poids de glace ; autrement dit, il y a assez de chaleur latente pour faire fondre un poids de glace 7,67 fois plus considérable que le poids de l'eau condensée.

Nous avons vu des valeurs horaires de condensation

de 0^{mm},050, 0^{mm},100 0^{mm},150. Nous aurons donc par suite de la chaleur latente dégagée, des valeurs horaires de fusion correspondantes de 0^{mm},383, 0^{mm},767, 1^{mm},150, qui entrent pour une proportion importante dans la valeur de l'ablation à la surface du glacier.

Si nous traduisons ces chiffres en mètres cubes de glace fondue par heure et par kilomètre carré du glacier, nous obtiendrons les chiffres suivants : 383, 767 et 1150 mètres cubes d'eau de fusion, due simplement à la chaleur latente dégagée par la condensation.

Donc la condensation doit être considérée, non-seulement comme agissant puissamment pour l'alimentation des torrents glaciaires, mais comme tendant d'une manière énergique à la fusion des glaciers.

Nous formulerons enfin l'action de la condensation dans les deux aphorismes suivants :

Plus grande sera l'humidité absolue de l'air, plus important sera le débit des torrents glaciaires, plus important aussi sera l'ablation et le retrait des glaciers.

Plus grande sera la surface des neiges et des glaces, plus complète sera l'action de dessèchement de l'air.

Nous allons aborder la partie de notre travail qui traite de l'évaporation ; mais nous voulons tout d'abord faire comprendre pourquoi nous avons donné beaucoup moins d'attention à ce phénomène qu'à celui de la condensation.

Nous chercherons à montrer comme quoi le phénomène de l'évaporation sur le glacier n'emprunte rien d'anormal à l'état solide de l'eau, tandis que la condensation est dans des conditions toutes différentes, suivant qu'elle se fait sur de l'eau à 0°, ou sur de la glace à 0°.

Pour cela, considérons les phénomènes de l'évaporation et de la condensation d'abord sur de l'eau.

Nous plaçons dans une atmosphère dont la température de saturation est à $+20°$, un vase plein d'eau à une température de $+15°$. D'après les lois de la condensation, une partie de la vapeur d'eau contenue dans l'air va se condenser à la surface de l'air, et, par conséquent, abaisser le point de saturation de l'air, supposons à 18°. Mais la chaleur latente dégagée par la condensation réchauffera l'eau et en élèvera la température, supposons-le, jusqu'à 18°. A ce moment, les tensions seront devenues égales et le phénomène s'arrêtera, pour ne recommencer, dans un sens ou dans l'autre, que si l'équilibre est de nouveau troublé.

Inversément, nous plaçons le même vase d'eau à 15° dans une atmosphère d'air dont le point de saturation est à 10°. Il y aura évaporation de la surface de l'eau, absorption de chaleur latente, et refroidissement de l'eau jusqu'à ce que l'air et l'eau aient une tension égale à 13°, par exemple.

Donc, tant que l'eau est entre les températures extrêmes du gel et de l'ébullition, les deux phénomènes de la condensation et de l'évaporation sont directement inverses et opposés dans tous leurs temps.

Il en est de même à l'égard de la glace pour des températures inférieures à 0°.

Mais si l'on place un bloc de glace dans une atmosphère dont le point de saturation est à 5°, il y aura condensation, dégagement de chaleur latente, mais il n'y aura pas élévation de la température de la glace, il y aura fusion.

L'air devra donc faire tout le chemin qui, dans les cas précédents, était fait en partie par l'eau ou la glace, et le point de rencontre entre les tensions ne sera pas, en analogie avec les cas précédents, à $+3°$, mais à 0°.

Donc, dans le cas de la glace à 0°, les phénomènes de l'évaporation et de la condensation ne sont plus directement inverses. De la glace à 0° se comporte, au point de vue de l'évaporation, comme le ferait, dans des circonstances analogues, de la glace à —15° ou de l'eau à +15° : elle se refroidit. Mais, lors de la condensation, de la glace à 0° se comporte autrement que de la glace à —15° ou de l'eau à +15° ; elle ne se réchauffe pas comme elle le ferait sous ces deux dernières formes, elle fond. Et par suite, l'air a lieu d'être desséché dans des proportions ordinaires, correspondant à une différence de 5°, dans l'exemple que nous avons choisi, entre les points de saturation des deux éléments en présence, l'air est desséché dans des proportions extraordinaires et ramené, quelle que soit son humidité absolue primitive, au point de saturation à 0°.

Pour avoir le phénomène directement inverse de la condensation à la surface de glace à 0°, il faudrait s'adresser, non pas à l'évaporation de la glace à 0°, mais à l'évaporation de l'eau à 0° ; nous aurions alors le même arrêt dans le changement de température du liquide causé par le dégagement de la chaleur latente nécessaire au changement d'état d'eau en glace.

Mais ce dernier cas ne se présente pas sur les glaciers et les neiges éternelles.

Les phénomènes d'évaporation à la surface du glacier ne sont donc pas dans des conditions anormales comme les phénomènes de condensation, c'est ce qui nous excusera si nous ne les avons pas soumis à une étude aussi attentive que les cas de condensation.

Nous avons, pour nos expériences, dans l'été de 1870, recherché une station où nous eussions surtout représen-

tées les conditions de la condensation. Celles de l'évaporation ne se sont présentées à nous que deux fois : une fois à notre station sur le glacier inférieur, une autre fois sur le glacier supérieur au-dessus de la cascade de glace, par une altitude d'environ 2350m.

Voici le résumé des expériences faites dans ces conditions d'évaporation ; nous indiquerons par un signe négatif, devant la valeur horaire de la condensation, les cas où, avec la balance, nous avons constaté de l'évaporation.

Expérience n°	Date	Heure du début de l'exposition.	Durée de l'exposition en minutes.	Glacier	Température de l'air.	Humidité		Température de saturation.	Valeur horaire de la condensation.
						relat.	absol.		
					C°		mm.	C°	
XXX	1 août	0,40 s.	60	inférieur	6,2	0,59	4,3	—1,2	0,007
XXXI	2 »	11,40 m.	125	supérieur	7,3	0,54	4,2	—1,3	—0,044
XXXII	2 »	11,45 m.	125	»	7,3	0,54	4,2	—1,3	—0,064
XXXIII	1 »	11,45 m.	60	inférieur	7,2	0,53	4,0	—1,7	0,015
XXXIV	1 »	11,38 m.	62	»	7,2	0,53	4,0	—1,7	0,005

De ce tableau il résulte que, dans les expériences XXXI à XXXII nous avons bien réellement eu évaporation quand les conditions de l'évaporation étaient remplies ; que dans les expériences XXX, XXXIII et XXXIV, au lieu d'évaporation qu'exigeaient les conditions hygrométriques de l'air, nous avons eu augmentation de poids, faible il est vrai, mais cependant augmentation de poids, c'est-à-dire condensation. Cela doit-il rentrer dans les erreurs dues à des causes physiques comme celles que nous avons énumérées plus haut ? Ne sont-ce pas peut-être des erreurs d'expérimentation et des fautes de pesées ? Nous sommes prêts à le reconnaître.

Nous n'avons pas, pour les raisons que nous venons d'exposer, cherché à étudier spécialement le phénomène

de l'évaporation du glacier. Pour donner cependant une idée de l'intensité de ce phénomène et permettre de le comparer avec la condensation que nous avons vue en action, nous allons donner une série d'observations faites avec la balance du 1er au 12 novembre 1870, à Morges, sur une fenêtre exposée au nord. Deux fois par jour, le matin et le soir, nous pesions exactement et en prenant la température, un de nos bassins de cuivre de 200 centimètres carrés de surface, rempli d'eau que nous avions laissé librement évaporer à l'air. Nous en déduisons la valeur horaire de l'évaporation que nous avons traduite en hauteur d'eau, en fractions de millimètre, suivant la règle jusqu'ici employée. Les conditions météorologiques dans lesquelles nous étions placés se sont trouvées assez semblables à celles que nous avons rencontrées pendant notre séjour sur le glacier du Rhône.

Le mémoire publié dans le Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles contient le détail de ces observations. Nous nous bornerons à en analyser une, celle qui a donné pour valeur horaire de l'évaporation $0^{mm},122$, la valeur la plus forte pendant ces 12 jours d'observation. Les moyennes que nous tirons des observations hygrométriques faites au commencement et à la fin de l'expérience sont les suivantes :

Température de l'air.	$5^{\circ},8$
Humidité relative.	$0^{\circ},64$
Humidité absolue.	$4^{mm},44$
Température de saturation	$-0^{\circ},5$
Température de l'eau en évaporation.	$4^{\circ},9$

L'air à $5^{\circ},8$ aurait eu à saturation une tension de $6^{mm},90$. Il aurait été capable de contenir 7,318 grammes

d'eau par mètre cube. Mais comme il n'avait que $4^{mm},44$ de tension, il n'en contenait en réalité que 4,709 gr. par mètre cube. Il pouvait donc enlever à l'eau 2,609 gr. par mètre cube avant d'être saturé. L'eau était réchauffée par la température plus élevée de l'air et marquait 4°,9, la tension de sa vapeur était de . . . $6^{mm},49$.
La tension de la vapeur d'eau de l'air étant de $4^{mm},44$,
il y avait un excès en faveur de l'eau de . . $2^{mm},05$,
qui explique l'intensité relative de l'évaporation. La chaleur latente absorbée par l'évaporation refroidissait de son côté l'eau, et empêchait qu'elle ne fût réchauffée jusqu'à la température même de l'air, 5°,8. La différence de 0°,9, que nous constatons entre la température de l'eau et celle de l'air, est due au refroidissement produit par l'évaporation.

Supposons maintenant, qu'au lieu d'un bassin plein d'eau, nous eussions eu un bloc de glace. Le bloc de glace, soumis à la température élevée de l'air aurait pu fondre, il n'aurait pas pu se réchauffer ; sa température, au lieu de s'élever jusqu'à 4°,9, serait restée à 0°. La différence entre les tensions aurait été de $0^{mm},16$ seulement, et l'air n'aurait pu acquérir de lui que 0,169 grammes par mètre cube. L'évaporation eût donc été beaucoup moins active et beaucoup moins forte. L'air aurait pu se charger d'une certaine quantité d'humidité, mais d'une quantité beaucoup moins forte que s'il avait été en contact avec de l'eau.

De ces faits nous concluons que l'évaporation peut exister à la surface du glacier toutes les fois que la tension de la vapeur d'eau de l'air est moindre de $4^{mm},60$; qu'elle doit exister toutes les fois que le point de saturation de l'air est plus froid que la surface de la glace;

mais que jamais l'évaporation ne peut être très-puissante et comparable aux grandes valeurs que nous a présentées la condensation, car jamais cette évaporation du glacier ne pourra élever la tension de la vapeur d'eau de l'air au-dessus de $4^{mm},60$.

L'air peut donc, s'il est très-sec, enlever une certaine quantité d'humidité à la surface du glacier, mais jamais l'évaporation de la neige ou de la glace n'élèvera sa tension à plus de $4^{mm},60$, ou son contenu en vapeur d'eau à plus de 4,88 grammes par mètre cube. Ainsi la condensation peut être considérable, l'évaporation ne le sera jamais.

Quant à la chaleur latente absorbée par le changement d'état de glace en vapeur, ou à la production de froid due à l'évaporation, ce phénomène doit être aussi manifeste que celui que nous venons de voir dans l'expérience citée. De même que dans de l'air à $5^{\circ},8$ l'évaporation abaissait la température de l'eau jusqu'à $4^{\circ},9$, de même la glace est refroidie lorsqu'il y a évaporation, et sa température s'abaisse au-dessous de la température de l'air. C'est ainsi que dans certains cas, par un air très-sec, on peut voir, avec un thermomètre à quelques degrés au-dessus de zéro, la surface de la glace rester gelée et ne donner aucun signe de fusion. Ce dernier cas de la persistance de l'état de gel de la surface de la neige ou du glacier avec un air au-dessus du point de glace, est vrai théoriquement; nous croyons l'avoir remarqué à diverses reprises; mais il mérite de nouvelles constatations, et nous en recommandons l'observation aux ascensionnistes et aux amateurs des hautes Alpes. Il expliquerait du reste bien l'état grenu et poussiéreux de la neige aux hautes altitudes, l'état poussiéreux aussi de la neige des Cordillières de l'équateur.

Il expliquerait enfin, combiné avec le dégagement de chaleur latente qui accompagne la condensation, un fait qui a frappé tous les ascensionnistes ; nous voulons parler de la rapidité du changement de qualité de la neige, qui, dure et gelée pendant la nuit, devient molle et tendre pendant le jour. Au matin, la neige est excellente, elle porte bien le poids du voyageur, et la croûte glacée reçoit à peine l'impression des pas. Tout à coup, nous voulons dire en une demi-heure, en un quart d'heure parfois, la qualité de la neige change subitement; elle devient tendre, humide, et le voyageur enfonce jusqu'aux genoux au même endroit où il avait facilement passé quelques instants auparavant. Le soir, phénomène inverse : tout à coup aussi, la neige redevient bonne, dure et sèche là où elle était détestable. Et cependant ni les sensations de la peau, ni le thermomètre n'indiquent de sauts brusques dans la température, qui expliqueraient cette rapidité du phénomène; la température de l'air s'élève lentement, s'abaisse lentement.

Nous trouverons l'explication de cette rapidité de transition dans la combinaison de plusieurs phénomènes naturels : la différence de température de l'air par l'effet ou l'absence des rayons du soleil, l'effet des brises ascendantes et descendantes, et les chaleurs latentes absorbées ou dégagées par l'évaporation ou la condensation. Il est connu qu'au lever du soleil l'air s'élève, et qu'au coucher du soleil il s'abaisse, que le matin il souffle une brise ascendante, que le soir il souffle une brise descendante [1]. Prenons le phénomène à minuit. L'air est froid, au-dessous de zéro, l'air est sec, il y a évaporation, la surface

[1] *De Saussure*, Voyages dans les Alpes, § 1126. — *Rendu*, Théorie des glaciers de la Savoie, page 23, etc.

de la neige est gelée. Le soleil se lève, il réchauffe l'air, mais, n'en augmentant pas l'humidité absolue, laisse continuer l'évaporation, et par suite maintient la surface de la neige gelée. Il réchauffe aussi l'air du fond des vallées, le dilate et détermine une brise ascendante ; de l'air plus humide monte le long des croupes de la montagne. Alors le phénomène hygrométrique devient inverse ; alors à l'évaporation succède la condensation ; à l'absorption de la chaleur latente succède son dégagement, et cela dans les proportions que nous avons vues. Alors la surface de la neige, au lieu d'être refroidie et gelée, reçoit une abondante quantité de chaleur latente dégagée par la condensation, et elle fond. La neige devient mauvaise.

Le soir, au moment du coucher du soleil, la brise du soir fait descendre dans la vallée l'air sec qui vient des hauts sommets ; à une atmosphère relativement humide succède un air très-sec, à la condensation succède l'évaporation, à la fusion le gel. Or l'inversion des phénomènes hygrométriques a lieu subitement, et c'est ce qui explique la rapidité, l'instantanéité du changement d'état de la neige.

En nous basant sur les faits et théories que nous venons d'exposer, nous pouvons résumer l'action hygrométrique du glacier sur l'air, et de l'air sur le glacier dans les aphorismes suivants :

1° Quand l'air contient moins de $4^{mm},60$ d'humidité relative, il peut y avoir condensation à la surface du glacier, il peut y avoir évaporation, suivant l'état relatif des tensions de la vapeur d'eau, de l'air et de la glace. Ces deux actions tendent à se contre-balancer en intensité, et annullent peut-être leurs résultats au point de vue de l'alimentation des glaciers.

2° Toutes les fois que la tension de la vapeur d'eau de l'air est supérieure à $4^{mm},60$, il y a condensation à la surface du glacier.

3° Le résultat total de la condensation et de l'évaporation à la surface du glacier doit être en faveur de la condensation, et cela d'une manière fort notable.

4° Le glacier, par la condensation et l'évaporation, tend à ramener à $4^{mm},60$ la tension de la vapeur d'eau de l'air (il n'y a d'exception à cette loi que dans le cas de condensation à des températures inférieures à 0°).

5° Comme, dans nos climats et nos latitudes, la capacité hygrométrique moyenne de l'air est supérieure à $4^{mm},60$ de tension, le glacier exerce une action desséchante très-puissante sur l'atmosphère.

6° La condensation de la vapeur d'eau, par la chaleur latente qu'elle dégage, tend à lutter contre l'extension du glacier; elle augmente la valeur de l'ablation et la fusion du glacier.

La condensation de l'humidité atmosphérique à la surface des corps gelés explique d'une manière satisfaisante l'importance et l'utilité des neiges de l'hiver, pour l'alimentation des sources. Il est d'expérience et de tradition chez les agriculteurs que, après un hiver neigeux, les sources sont abondantes et bien nourries, que, après un hiver pluvieux, par contre, elles tarissent beaucoup plus vite. Ce fait est facile à expliquer. L'eau qui tombe en pluie ne pénètre qu'en partie immédiatement dans le sol; une partie reste à la surface et, par sa nature même, est exposée à l'évaporation ; une grande partie se perd en vapeur. L'eau qui tombe en neige est, dans nos climats du moins, dans des conditions bien différentes. Tant que le thermomètre reste au-dessous de zéro, elle se trouve le

plus souvent dans les conditions de l'évaporation ; mais la capacité hygrométrique de l'air étant, aux basses températures, très-faible, cette évaporation est peu considérable. Aussitôt que le thermomètre s'élève au-dessus de zéro, et que la neige commence à fondre, elle est au contraire, en général, dans les conditions de la condensation, et alors, comme les principes que nous avons exposés sont encore applicables ici, la condensation peut être considérable, avoir une valeur importante et compenser rapidement la quantité de vapeur d'eau que l'évaporation a enlevée.

C'est ce que prouveront les observations suivantes, faites en décembre 1870.

Nous avons profité d'une abondante chute de neige qui vient d'avoir lieu à Morges, les 4 et 8 décembre, pour étudier les phénomènes d'évaporation et de condensation à sa surface.

Nous donnerons d'abord une idée de l'état thermométrique et hygrométrique de l'air, en indiquant les moyennes des observations assez nombreuses que nous avons faites pendant dix jours. Nous indiquons la température du thermomètre mouillé, qui, lorsqu'il y a évaporation à la surface de la neige, peut être considéré comme donnant la température de la surface glacée.

DATE	Nombre d'observations	THERMOMÈTRE		HUMIDITÉ		Température de saturation.
		sec	mouillé	absol.	relat.	
Déc. 5- 7	18	— 5,2	— 5,8	2,65	0,85	— 7,2
» 8- 9	8	— 1,8	— 2,9	3,26	0,82	— 4,6
» 10-12	15	— 1,5	— 2,4	3,48	0,83	— 3,9
» 13-16	13	6,6	6,4	7,11	0,94	6,1

En résumé, pendant cette periode de quatorze jours, nous avons eu, du 3 au 13 décembre, une première série de jours froids et secs, coupée par les chutes de neige des 3, 4 et 8 décembre; pendant ce temps, la surface de la neige s'est maintenue constamment au-dessous de zéro. Puis, du 13 au 16 décembre, une seconde série de jours chauds et humides, pendant lesquels le dégel et la fonte ont marché avec une grande rapidité.

Voyons maintenant ce qu'ont produit ces circonstances hygrométriques sur les phénomènes de l'évaporation et de la condensation.

Du 5 au 16 décembre, nous avons fait trente-cinq pesées différentes, qui nous ont servi à étudier sans interruption les phénomènes hygrométriques pendant toute la série des douze jours. Nous en grouperons les résultats dans le tableau suivant qui indiquera en résumé les sommes des principales valeurs par nous obtenues. Nous emploierons les mêmes notations usitées jusqu'à présent, en donnant, en fractions de millimètre, la hauteur d'eau évaporée ou condensée pendant un temps donné; une deuxième colonne donnera la valeur horaire de l'évaporation ou de la condensation. Le signe négatif placé devant ces chiffres indiquera qu'il y eu évaporation, le signe positif, condensation.

Début.		Fin.		Hauteur d'eau totale évaporée ou condensée.	Valeur horaire de l'évaporation ou de la condensation.
Date.	Heure.	Date.	Heure.	mm.	mm.
5 déc.	8,40 m.	8 déc.	8,00 m.	— 0,907	— 0,012
8 »	8,00 m.	9 »	2,40 s.	— 0,187	— 0,006
9 »	2,40 s.	13 »	0,05 s.	— 0,992	— 0,010
13 »	0,05 s.	16 »	6,55 m.	+ 2,062	+ 0,031

Donc du 5 au 13 décembre, en 196 heures, il s'est évaporé une hauteur d'eau de $2^{mm},086$, ce qui donne comme moyenne horaire de l'évaporation 0,010.

Du 13 au 16 décembre, en 67 heures, il s'est condensé $2^{mm},062$, ce qui donne une moyenne horaire de condensation de $0^{mm},031$.

La condensation a surpassé en intensité de plus de trois fois la valeur de l'évaporation, et en 67 heures elle a rendu à la neige à $0^{mm},024$ près, la quantité d'eau qui lui avait été enlevée en 196 heures.

Si nous calculons l'épaisseur de neige enlevée par l'évaporation, en prenant pour base le poids du mètre cube de neige fraîche à 85 kilogrammes, nous trouverons que les $2^{mm},086$ d'eau qui ont été évaporés en huit jours, correspondent à une épaisseur en neige de 25 millimètres. Ce qui confirme le proverbe populaire disant que « la bise mange la neige. »

Nous terminons en faisant remarquer l'importance que devaient avoir les phénomènes que nous avons constatés sur nos petits glaciers, alors que, à l'époque glaciaire, une immense calotte de glace partait du sommet des Alpes, pour aller battre sur les flancs du Jura et s'avancer, dans la vallée du Rhône, jusqu'au delà de Lyon; dans la vallée du Rhin jusqu'à la limite actuelle des eaux du Rhin et du Danube. Cette immense surface glacée devait condenser la vapeur d'eau avec une énorme intensité et l'action desséchante sur l'air devait avoir un degré, dont nous n'avons plus aujourd'hui d'exemple. Quelle pouvait être l'influence de ce dessèchement de l'air sur la flore et la faune des pays avoisinants ? c'est ce que les études paléontologiques et géologiques devraient ne pas négliger.

Le mémoire de MM. Dufour et Forel se termine par cinq appendices :

Le premier donne la surface des glaciers de la Suisse, spécialement ceux du bassin du Rhône.

Le deuxième est une note sur les brises du lac Léman.

Le troisième est une note sur la température de la source du Rhône.

Le quatrième est une note sur les pierres enchâssées dans la glace du glacier du Rhône.

Le cinquième est une explication du plan du glacier du Rhône et de ses moraines frontales, tel qu'il était le 30 juillet 1870, plan qui accompagne le mémoire lui-même.

BULLETIN SCIENTIFIQUE.

PHYSIQUE.

F. Zöllner. Du spectre de l'aurore boréale. (*Phil. Mag.*, février 1871.)

Outre la raie verte bien prononcée signalée par Angström, Zöllner a observé une raie rouge qui n'avait pas encore été remarquée. Cette raie ne peut s'apercevoir que dans la portion du ciel qui, même à l'œil nu, paraît être d'un rouge intense. Toutefois on y découvre aussi la raie verte dont l'intensité est telle qu'il est rare que la raie rouge produise une impression optique aussi vive. Dans la partie bleue du spectre on voit quelquefois des bandes un peu vagues parmi lesquelles une large bande noire se montre sur un fond plus brillant.

En comparant ce spectre de l'Aurore boréale avec ceux donnés par l'hydrogène, l'azote, l'oxygène et l'acide carbonique dans les tubes de Geissler, on peut s'assurer que la raie rouge du spectre de l'Aurore ne correspond à aucune des raies les plus brillantes des spectres des quatre gaz. Ainsi le spectre de l'Aurore boréale ne semblerait correspondre dans ses principales raies avec aucun de ceux fournis par des substances connues de notre globe.

Par contre les observations de Winloch et de Young rendraient probable que les raies vertes du spectre fourni par les protubérances observées pendant une éclipse totale de soleil, sont identiques aux trois raies que présentent le spectre, soit de la couronne, soit de l'arc de l'Aurore boréale.

Toutes ces circonstances semblent rendre difficile l'explication de l'Aurore boréale; Angström va jusqu'à dire qu'il

est impossible d'établir une analogie entre la lumière de l'Aurore boréale et celle que produit le passage de l'électricité à travers les gaz raréfiés, à cause de la différence qui existe entre les spectres de ces deux lumières. M. Zöllner serait plutôt porté à attribuer cette divergence à la différence de température qui existe entre la lumière de l'Aurore et celle des gaz incandescents des tubes de Geissler. En résumé il regarderait comme très-probable que, *si le spectre de l'Aurore boréale ne correspond à aucun spectre connu des gaz contenus dans notre atmosphère, cela tient uniquement à ce que le spectre fourni par l'atmosphère appartient à un autre ordre qu'on ne peut reproduire artificiellement.*

L'auteur appuye son opinion sur différentes considérations que nous exposerons brièvement. Il suppose un tube de Geissler rempli d'air atmosphérique raréfié sous la pression de 1 millim. à la température 0°, et d'un diamètre intérieur de 1 millim. En rendant, au moyen d'un appareil d'induction, incandescent l'air intérieur du tube, on ne changerait rien au spectre produit par cet air incandescent, ni au point de vue de la qualité, ni sous celui de la quantité, si on portait l'épaisseur de la couche gazeuse, par conséquent le diamètre du canal, de 1 millim. à 1000 millimètres, la pression du gaz renfermé étant réduite par compensation de 1 millim. à 1/1000 de millimètre; il faudrait supposer que la température resterait la même : on aurait évidemment le même nombre de particules incandescentes à la même température. Mais ce n'est pas ce qui se passe avec l'Aurore boréale.

Les observateurs varient beaucoup quant à la détermination de la hauteur de l'atmosphère à laquelle a lieu le phénomène des Aurores boréales. Toutefois, il paraîtrait qu'en prenant 10 à 20 milles géographiques pour cette hauteur, on dépasserait plutôt la limite à laquelle se trouve située la partie la plus basse de l'Aurore. En supposant la température uniforme de 0°, et partant de la hauteur normale du

baromètre à la surface de la terre, on trouverait la pression atmosphérique de 0,078 millim. à la hauteur de 10 milles, et de 0,0001 millim. à la hauteur de 20 milles. D'un autre côté l'épaisseur des couches lumineuses de l'Aurore doit être estimée non en mètres, mais en kilomètres, de sorte que pour avoir une quantité de molécules équivalente dans un tube de Geissler, il faudrait une pression énorme ; ainsi il faudrait dans le tube une pression de 78 mètres de mercure pour une quantité d'air correspondante à celle qui se trouverait à une hauteur de 10 milles dans une couche de 1 kilomètre d'épaisseur. Aussi ne trouverait-on jamais un appareil d'induction ayant une tension assez puissante pour surmonter la résistance de l'air comprimé à ce point. Et, en supposant qu'on réussît à obtenir une tension suffisante, la température produite par la décharge dans de telles conditions serait si élevée qu'on n'obtiendrait qu'un spectre brillant et continu et nullement comparable à celui de l'Aurore boréale.

Il résulte de là qu'évidemment la quantité de particules gazeuses incandescentes dans un tube de Geissler est probablement infiniment petite en comparaison de celles qui se trouvent dans l'Aurore boréale. Mais, puisque malgré cela, le spectre d'un gaz rendu incandescent par l'électricité dans un tel tube, a pour le moins l'éclat de celui de l'Aurore boréale, on peut en conclure que les particules gazeuses incandescentes dans le tube doivent avoir un pouvoir émissif infiniment plus considérable que ne l'ont les particules gazeuses de l'Aurore boréale. Cette différence ne peut provenir que d'une différence de température. Ainsi, *si la lumière qui est développée dans l'Aurore boréale provient des particules de gaz incandescentes de notre atmosphère, la température à laquelle ces particules se trouvent, doit être beaucoup inférieure à celle qui est nécessaire pour rendre les mêmes gaz incandescents dans les tubes de Geissler.*

Il résulte de ces considérations que tous les spectres de

divers ordres qu'on peut produire artificiellement au moyen des gaz, proviennent de particules élevées à de hautes températures, car l'éclat lumineux considérable qui provient d'une quantité si faible de particules incandescentes montre que chaque particule émet une très-forte lumière, ce qui ne peut avoir lieu qu'au moyen d'une haute température. D'un autre côté, si nous observons les spectres plus simples et faiblement lumineux dans l'Aurore boréale et autres phénomènes analogues, quoique vu l'épaisseur considérable des couches rayonnantes, il y ait un très-grand nombre de particules lumineuses, on doit nécessairement admettre que la température de ces particules incandescentes est relativement basse.

Il ne peut donc y avoir identité entre les spectres produits par un très-grand nombre de particules lumineuses, mais ayant une température relativement basse, et ceux qui proviennent d'un très-petit nombre de particules très-fortement incandescentes, et par conséquent élevées à une très-haute température.

Dr L. Bleekrode. Sur une propriété singulière du coton poudre. (*Philosophical Magazine*, janvier 1871.)

L'auteur, à la suite de quelques expériences sur l'inflammation du coton poudre par l'étincelle électrique, avait été conduit à humecter cette substance avec un liquide très-inflammable, tel que le bisulfure de carbone. L'expérience lui a bientôt montré que dans ce cas le liquide seul prenait feu, tandis que le coton poudre restait sans altération au milieu du liquide enflammé, présentant l'apparence d'une petite masse de neige qui se fond lentement. Cette expérience a été répétée en humectant le coton poudre soit avec le bisulfure de carbone, soit avec l'éther, la benzine ou l'alcool. Dans tous ces cas, et quelle que soit d'ailleurs la source d'ignition, les liquides seuls s'enflamment, et le co-

ton poudre ne présente plus aucun danger d'explosion, lors même qu'il se trouve en quantité considérable. Cet effet ne peut être attribué à la présence d'eau, puisqu'on peut se procurer du bisulfure ou de la benzine qui ne renferme pas trace de ce liquide. L'auteur en trouve l'explication dans les résultats obtenus par le professeur Abel, lors de ses recherches « sur la combustion de la poudre et du coton-poudre, » dont il cite le paragraphe suivant : « Ces résultats, dit M. Abel, indiquent que si quelque obstacle vient empêcher, même momentanément, les gaz engendrés par la première action de la chaleur sur le coton-poudre d'envelopper complétement l'extrémité allumée du coton, l'inflammation de ces gaz ne peut continuer à avoir lieu. Or, comme c'est à la température élevée produite par cette inflammation qu'est due la combustion rapide et complète du coton-poudre, l'extinction momentanée de ces gaz, jointe à la quantité de chaleur rendue latente au moment où ils se forment, force le coton-poudre à ne brûler que lentement et d'une façon incomplète, lui faisant subir une transformation analogue en quelque sorte à la distillation destructive. » A l'appui de cette assertion, M. Bleekrode cite plusieurs expériences faites en brûlant du coton-poudre à l'état compacte, soit à l'air, soit dans le vide, soit renfermé dans des tubes étroits. Si l'on met le feu à une petite quantité de coton-poudre placé dans un tube ouvert aux deux extrémités, et mouillé avec le bisulfure de carbone ou tout autre liquide très-volatil, il devient facile de recueillir quelques-uns des gaz résultant de la distillation qui a lieu, parmi lesquels on distingue l'odeur bien connue de l'acide nitreux.

Le professeur Abel a constaté que de la poudre à canon, lorsqu'elle se trouve dans les mêmes conditions que le coton-poudre, se comporte tout autrement. C'est ainsi qu'ayant renfermé 14 grains de poudre à canon dans un appareil où la pression équivalait à 0,65 pouce de mercure, il a remar-

[1] *Proceedings of the Royal Society*, 1863-64, vol. XIII, p. 214.

qué que cette poudre, mise en contact avec un fil de métal chauffé au rouge, a commencé par émettre des vapeurs sulfureuses, puis au bout de trois minutes a fait explosion. Le même fait s'est présenté en posant sur un disque de métal quelques grains de poudre à canon humectés avec le bisulfure de carbone; le bisulfure s'est allumé immédiatement, tandis que la poudre n'a fait explosion qu'au bout d'un certain temps.

L'auteur termine en faisant remarquer qu'on peut conserver dans une flasque du coton-poudre sous une couche de bisulfure de carbone ou de benzine, sans qu'en cas de feu il y ait aucun danger d'explosion. Il suffit ensuite de l'exposer pendant quelques instants à l'air pour lui rendre des propriétés explosives.

A. Seebeck. Ueber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, etc. Sur la vitesse de propagation du son dans des tuyaux. (*Pogg. Ann.*, tome CXXXIX, p. 104.)

La transmission du son, dans les tuyaux, a été étudiée en dernier lieu par plusieurs physiciens. M. Kundt [1] a appliqué à ces recherches la méthode imaginée par lui, et qui consiste à mettre en évidence le mouvement vibratoire de la colonne d'air enfermée dans le tuyau à l'aide de figures acoustiques produites avec des poussières fines. M. Regnault [2] a opéré ses mesures directement sur de longues conduites. Tous deux concluaient à ce que la vitesse de propagation du son dans des tuyaux diminue avec le diamètre de ces tuyaux. M. Seebeck a repris cette étude avec la méthode des interférences imaginée par M. Quincke [3], en la modifiant seulement de manière à faire du tuyau même, sur lequel il opérait, le tube d'interférence. Cette méthode a sur celle de

[1] *Archives des Sciences phys. et natur.*, 1868, tome XXXI, p. 256.
[2] *Archives*, 1868, tome XXXI, p. 316.
[3] *Annales de Poggendorff,* tome CXXVIII, p. 177.

M. Kundt l'avantage de laisser le tube libre, et de ne pas exiger l'introduction, dans son intérieur, d'une certaine quantité de poussière qui pourrait un peu modifier les résultats. Un diapason placé devant l'ouverture du tube imprimait son mouvement vibratoire à la colonne d'air renfermée dans le tube.

Les conclusions de ce travail sont les suivantes :

1° La vitesse de propagation d'un son dans un tuyau diminue avec le diamètre de ce tuyau. Sur ce point cependant les résultats ne furent tout à fait nets qu'avec des tubes d'un très-petit diamètre, 9^{mm}, par exemple, et au-dessous. Cette vitesse *a fortiori* est plus faible dans un tuyau que dans l'air libre. Dans des tuyaux étroits, la diminution que subit la vitesse de propagation du son est inversément proportionnelle au diamètre du tuyau.

2° La vitesse avec laquelle un son se transmet dans un tuyau est plus grande pour les sons hauts que pour les sons bas.

3° La perte de vitesse n'est pas, comme M. Kirchhoff l'avait admis, inversément proportionnelle à la racine carrée du nombre des vibrations ; elle paraît être, d'après les expériences de M. Seebeck, inversément proportionnelle à la puissance $\frac{3}{2}$ de ce nombre.

4° Enfin, cette vitesse varie avec la nature de la surface intérieure du tuyau. E. S.

J.-L. Soret. Sur la dispersion anormale de quelques substances.

M. Christiansen et M. Kundt ont fait récemment des expériences très-remarquables sur la dispersion anormale que produisent certaines substances, telles que les dissolutions concentrées des couleurs d'aniline, du permanganate de potasse, etc. [1] Un prisme formé d'un de ces liquides maintenu

[1] Voyez *Archives*, février 1871, page 187.

entre deux lames de verre donne lieu à un spectre dans lequel l'ordre des couleurs n'est pas le même qu'avec les substances ordinaires : le bleu et le violet sont moins déviés que le rouge. — L'expérience faite sous cette forme présente assez de difficulté, parce que ces dissolutions étant très-fortement colorées la lumière ne peut traverser qu'une couche très-mince de liquide, et qu'il faut par conséquent faire passer le faisceau très-près de l'arête du prisme.

L'importance de ce fait n'aura échappé à aucun physicien, aussi je crois qu'il y aura quelque intérêt à en indiquer une conséquence que l'on peut rendre évidente par une expérience facile à répéter. Elle consiste à produire l'inversion du spectre en introduisant la dissolution que l'on veut examiner dans un prisme creux d'un angle de 30° environ, et à placer ce prisme dans une auge, dont deux faces opposées sont formées de lames de verre parallèles, remplie du liquide qui a servi à dissoudre la substance à dispersion anormale. On peut alors observer le spectre interverti sur une dissolution moins concentrée et par conséquent plus transparente que lorsqu'on laisse le prisme dans l'air. Je vais citer quelques exemples :

Fuchsine. — On prend un spectroscope, on en enlève le prisme ordinaire que l'on remplace par le prisme creux rempli d'une dissolution alcoolique concentrée de fuchsine. Si l'on opère avec un faisceau de lumière intense tombant très-près de l'arête du prisme, on parvient à voir le spectre interverti, sans employer l'auge dont j'ai parlé, c'est-à-dire en laissant le prisme dans l'air. — Avec une dissolution de fuchsine peu concentrée, le spectre est normal, le rouge étant moins dévié que le violet. — Avec une dissolution d'une concentration intermédiaire, le spectre se réduit à peu près à une seule bande lumineuse colorée en rouge ; dans ce cas la dispersion inverse produite par la fuchsine est compensée presque exactement par la dispersion opposée que produit l'alcool servant de dissolvant : on a déviation sans dispersion.

Plaçons maintenant le prisme rempli de cette dernière dissolution dans l'auge pleine d'alcool, la déviation générale des rayons sera presque complétement annulée, mais la dispersion anormale de la fuchsine se manifeste, le rouge étant plus dévié que le violet. Il n'est plus nécessaire d'employer une lumière aussi vive, ni de faire tomber le faisceau aussi près de l'arête.

En mesurant les angles de déviation, pour cette dissolution, j'ai trouvé que lorsque le prisme était placé dans l'air, la déviation de la bande rouge était de 11° 30′ environ. Lorsque le prisme était dans l'alcool, le violet était à peine dévié, le rouge de 15′ et l'orangé-jaune de 23′.

Avec une dissolution de fuchsine beaucoup moins concentrée, la déviation du violet était encore presque insensible, celle du rouge de 6′, celle de l'orangé-jaune de 16′.

Ainsi pour les rayons violets, les dissolutions de fuchsine ont presque le même indice de réfraction que l'alcool; pour les rayons rouges, l'indice de la fuchsine est plus fort.

Violet d'aniline (Parme).— Avec une dissolution aqueuse de cette substance, le prisme étant placé dans l'air, on a obtenu un spectre normal où toutes les couleurs étaient visibles, la déviation du rouge était 10° 24′, celle du violet à 10° 43. En plaçant le prisme dans l'auge remplie d'eau, le spectre, très-peu dévié, se réduisait à deux bandes, l'une bleue, l'autre rouge carmin, empiétant l'une sur l'autre quand la fente du spectroscope n'est pas très-étroite. En employant la lumière solaire, on distinguait en outre une trace de vert à l'extrémité du spectre du côté de la bande bleue. La déviation du bleu était de 1′, celle du rouge de 4′.

Permanganate de potasse. — Le prisme placé dans l'air étant rempli d'une dissolution de permanganate de potasse, on a obtenu un spectre normal : le rouge était dévié de 10° 33′, et le violet de 10° 53′. En plaçant le prisme dans l'eau on a obtenu, pour la déviation du violet 6′, pour celle du rouge 9′, pour celle du jaune 12′.

On voit par ces chiffres combien l'addition de substances à dispersion anormale diminue le pouvoir dispersif du dissolvant sans changer beaucoup son indice de réfraction moyen. En augmentant de plus en plus la concentration de la dissolution, le pouvoir dispersif devient nul, puis négatif.

L'expérience en plaçant le prisme dans l'auge remplie du dissolvant, présente plus d'intérêt pour les dernières substances dont j'ai parlé que pour la fuchsine ; en effet le violet d'aniline et le permanganate de potassse doivent être en solution extrêmement concentrée pour donner le spectre interverti lorsqu'on place le prisme dans l'air ; l'observation devient alors beaucoup plus difficile qu'avec la fuchsine.

ZOOLOGIE, ANATOMIE ET PALÉONTOLOGIE.

Dr Chr. Lutken. Sur les limites et la classification des Ganoides. (Lettre adressée à M. le professeur Geinitz, et communiquée par l'auteur.)

Copenhague, le 15 mai 1870.

Vous avez désiré, M. le professeur et rédacteur, de recevoir un résumé de mon mémoire sur les limites et la classification des Ganoïdes [1] ; cependant, l'intérêt que vous avez bien voulu témoigner pour mon ouvrage, s'affaiblira peut-être notablement, quand je vous dirai que, scientifiquement, il ne renferme que peu de chose de nouveau. Je n'ai eu d'autre but que d'établir, de préciser et d'exposer les résultats auxquels est parvenu la science, touchant la question importante ci-dessus indiquée ; et son importance, quelle qu'elle soit ne tiendra qu'au nombre, nécessairement restreint, de ceux qui auront eu le temps, la patience et le loisir d'approfondir eux-mêmes ces résultats par leurs propres études. Certes, l'histoire de la paléichthyologie démontre bien évi-

[1] Dr Chr. Lütken, *Om Ganoidernes Begrændsning og Inddeling.* Kjöbenhavn, 1869.

demment que, jusqu'ici, il n'a pas régné une clarté parfaite sur cette question, en partie parce que plusieurs des auteurs les plus éminents n'ont malheureusement pu prendre une connaissance exacte des ouvrages de leurs devanciers. De là, en partie du moins, cette incertitude sur la définition et les limites des Ganoïdes, sur le rang qu'ils doivent occuper dans l'échelle zoologique, sur la manière de les subdiviser, etc. N'avons-nous pas vu André Wagner, dont les mémoires sur les poissons du calcaire lithographique sont un des plus beaux triomphes de la paléichthyologie, depuis les grands ouvrages de M. Agassiz, se contenter d'une définition applicable seulement à un terrain particulier, et Rodolphe Kner, le savant ichthyographe des époques modernes et anciennes, émettre l'opinion qu'il n'y avait, au fond des choses, pas de Ganoïdes du tout, et que les formes rassemblées sous ce nom, n'étaient autre chose que les prototypes des différentes familles ichthyologiques modernes, n'ayant de commun qu'un caractère d'antiquité ! C'est l'Angleterre et l'Allemagne méridionale qui ont été les principaux centres des études paléichthyologiques modernes ; mais malheureusement les auteurs anglais se sont généralement, je parle ici d'un temps qui appartient déjà au passé, peu informés des ouvrages de leurs collègues des bords du Danube, et *vice versa* ; ainsi le mémoire important et excellent de M. Huxley sur la classification des poissons du système Dévonien, ouvrage faisant vraiment époque dans la paléichthyologie, est demeuré presque inconnu sur le continent.

La première partie de mon ouvrage a le caractère exclusivement historique et critique, et ne sera mentionnée ici que très-brièvement, quoique servant de base à la suivante. J'y ai montré, passant en revue les écrits plus ou moins importants sous ce point de vue [1] d'Agassiz, de Jean

[1] On trouvera à la fin de mon mémoire une liste des principales publications sur cette division de l'ichthyologie depuis 1841 jusqu'en 1869.

Müller, de Stannius, de Gegenbaur, de Williamson, de Kölliker, de Heckel, de Wagner, de Huxley, de Kner, etc., que l'on n'a jamais été capable de donner une définition exacte de ce que c'est qu'un Ganoïde ; ni les caractères extérieurs dits zoographiques, ni ceux empruntés à l'anatomie et à l'histologie (c'est-à-dire à l'examen microscopique des écailles) n'ont pu remédier à ce défaut. La place restreinte que vous accorderez à ce résumé m'empêchera cependant de me prononcer ici sur tous les points de la structure extérieure et intérieure de ces animaux, auxquels on a attribué une importance plus ou moins grande, plus ou moins justifiée quant à la classification. Je m'en tiendrai au témoignage de feu M. Kner, qui a dit avec tant de raison qu'il sera impossible de donner une définition quelconque de l'ordre des Ganoïdes, si l'on veut maintenir les limites qu'on lui assigne encore généralement, et je me range aussi de son côté, quand il propose subsidiairement d'en restreindre les limites et de les abaisser du rang de sous-classe ou d'ordre à une place moins élevée dans l'échelle du système. Mais je suis loin de pouvoir approuver sa proposition principale de rayer complétement cette tribu des cadres zoologiques, proposition qui n'est, au reste, appuyée d'aucun renseignement sur la répartition éventuelle de ce grand ensemble de types divers dans les autres sous-ordres de la classe des poissons, ce qui serait d'ailleurs, ainsi que nous le démontrerons bientôt, tout à fait contraire à la nature.

La méthode théorétique ou construisante, celle des caractères zoographiques ou zootomiques, ayant donc échoué, il faudra appliquer à cette question *la méthode synthétique* ou comparative, œuvre de fatigue et de patience, il est vrai, mais conduisant toujours sûrement au but : c'est-à-dire, celle qui consiste à ranger les types connus selon leur affinité, l'ensemble des caractères, espèce par espèce, genre par genre, jusqu'à ce que les familles soient formées ; puis, en se rattachant de même, sans aucune idée préconçue, les familles

l'une à l'autre, vous en viendrez à établir peu à peu des groupes d'un ordre plus élevé, et vous verrez enfin surgir devant vous le vraie système naturel, dont les subdivisions et les définitions auront pour base solide l'expérience, l'ensemble des faits. Il faudra donc borner, provisoirement du moins, le nom de Ganoïdes aux types actuels indubitables, c'est-à-dire aux *Lépidostées* et aux *Polyptères*, et aux types fossiles qui se grouperont naturellement autour d'eux, en donnant des preuves de leur affinité, rendues incontestables par la concordance absolue des caractères importants, tandis qu'il faudra éliminer de même, provisoirement au moins, toutes les formes entre lesquelles et les précédentes notre méthode comparative, synthétique, sera hors d'état d'établir aucun lien de parenté. Le tableau que nous offrira, après une investigation scrupuleuse de cette sorte, le sous-ordre des Ganoïdes, sera à peu près le suivant :

I. Première série : Les *Lepidostéides* ou *Euganoïdes* comprendront les poissons à écailles osseuses, émaillées, rhomboïdes et articulées, se rattachant aux *Lépidostées* actuels, et ne possédant ni les côtes dermales des *Lépidopleurides*, ni les nageoires paires, frangées ou en forme de rame des *Polyptériens*, ni les plaques gulaires, au lieu des rayons branchiostègues de ceux-ci [1]. Quoique formant en apparence un ensemble très-naturel, il n'y a aucune particularité positive qui les caractérise d'une manière absolue et exclusive. Ils ont, quant aux écailles du corps, des caractères communs avec une partie des *Polyptériens* ; celles dites fulcrales, des bords des nageoires, qui se trouvent au moins chez la plupart des *Lépidostéides* fossiles, se trouvent également chez les *Lépidopleurides* anciens et chez quelques vrais *Téléostéens* du terrain jurassique, à l'exception des *Lépidostées* actuels, les *Lépidostéides* fossiles paraissent avoir eu un caractère commun dans

[1] A la seule exception du genre *Cheirolepis*, seul type *dévonien* de toute la série, indiquant par ses plaques gulaires une certaine parenté avec les *Polyptériens* contemporains.

les délicats et nombreux rayons des nageoires et de la membrane des ouïes; enfin, la position peu reculée des nageoires ventrales, sur le milieu du ventre, les distinguera aussi des *Polyptériens* à écailles semblables. Quoique cette série embrasse un très-grand nombre de genres, qu'on trouvera mentionnés en grande partie dans mon mémoire, il me paraît encore impossible de la subdiviser d'une manière naturelle en tribus ou en familles. On pourra peut-être distinguer entre les genres à grandes écailles et ceux à petites écailles, entre les types hétérocerques et subhomocerques; on aurait ainsi une division quaternaire comme celle-ci:

1.	Lépidostéides	hétérocerques	microlépidotes :	*Cheirolepis.*
2.	»	homocerques	»	*Sauropsis.*
3.	»	hétérocerques	macrolépidotes :	*Palæoniscus.*
4.	»	homocerques	»	*Lepidotus.*

Mais il me paraît impossible de tracer des limites fixes entre ces groupes, plutôt artificiels que naturels. On a proposé aussi de subdiviser les *Euganoïdes* en « monostiques » et « distiques, » selon l'arrangement simple ou double des écailles bordant les nageoires; mais il nous manque encore des renseignements suffisants pour pouvoir adopter cette classification, si même elle a un fondement réel dans la nature! Tout le monde sait qu'il y a une différence d'époque entre les *Euganoïdes* dits « hétérocerques » et ceux dits « homocerques, » ou mieux « simorrhaques; » mais la ligne de démarcation n'est pas si nettement tranchée qu'on l'a cru. Déjà, dans le système Permien, il y a des espèces (rapportées au genre *Palæoniscus*) demi-hétérocerques seulement, tandis qu'il se trouve encore dans le terrain liasique des genres absolument hétérocerques (*Oxygnathus*, *Cosmolepis*); généralement, il se manifeste néanmoins un progrès évident de la forme hétérocerque à celle dite homocerque ou en évantail, parrallèle à la marche des époques géologiques. Un progrès semblable se prononce aussi, d'une manière moins nette peut-être, dans la structure de l'épine

dorsale. Aucun Lépidostéïde ne nous offre de véritables corps de vertèbres biconcaves; à l'exception des *Lépidostées* actuels, vous trouverez *ou bien* une notochorde nue, sans trace quelconque de corps de vertèbres, les apophyses des vertèbres les intérapophysaires, l'arc scapulaire, les rayons des nageoires, etc., étant en même temps bien développés et assez ossifiés; *ou bien* des *demi-vertèbres*, c'est-à-dire des plaques superficielles, dérivant des neurapophyses et des hémapophyses et recouvrant la notochorde complétement ou en partie, simulant assez souvent, en se touchant ou se couvrant réciproquement, de fausses vertèbres; *ou bien* formant ensuite, en se fondant entre elles, des *vertèbres* dites *annulaires*, différant toutefois des vrais vertèbres de poissons par leur superficie lisse et leur intérieur osseux, renfermant la notochorde presque entièrement développée. Au reste, j'engagerai le lecteur qui voudrait avoir de plus amples informations sur ce sujet, à consulter surtout les ouvrages de MM. Heckel et Wagner.

II. Deuxième série : Les *Lépidopleurides* ou *Pycnodontiens* se caractérisent surtout par les côtes dermales particulières [1] qui en protégeaient les flancs, au moins sur la partie antérieure du corps, et qui tenaient suspendues les écailles (assez délicates quelquefois), rhomboïdes, non articulées, mais enchâssés d'une manière toute particulière les unes dans les autres. Généralement il y a aussi dans la forme du corps quelque chose de très-caractéristique, qui permet aussitôt de distinguer ce type *éteint* bien tranché et assez remarquable. Si l'on en connaissait seulement les représentants les plus récents, on pourrait se douter de leur véritable posi-

[1] J'ai suivi ici les vues de M. Heckel touchant cette partie de leur organisation ; selon M. Egerton, ces côtes dermales sont seulement la partie antérieure et épaissie des écailles. Pour la question de classification qui nous occupe ici, cette différence a peu d'importance ; le caractère persiste, lors même que la manière dont il a été exprimé se trouverait être fausse.

tion dans le système, tant ils s'éloignent du type *Euganoïde* ; mais il y a une série non interrompue, conduisant directement des *Pycnodontes* éocènes aux *Platysomes* paléozoïques, que personne n'a eu l'idée d'exclure des Ganoïdes, et démontrant jusqu'à l'évidence la filiation de tous ces êtres. C'est une branche particulière, qui s'est séparée, pendant l'époque de la houille, du tronc commun des *Ganoïdes*, et qui a continué, dans le cours des temps, de s'éloigner de plus en plus de son point de départ, de se développer d'une manière de plus en plus parfaite, et de s'épanouir dans une foule de genres bien tranchés, jusqu'à ce qu'elle atteignit le but de son existence durant l'époque éocène. La classification des *Lépidopleurides* nous reproduira l'image de cette marche géologique.

a. Les *Lépidopleurides paléozoïques* ou *Platysomiens*, à écaillure du corps et à côtes dermales complétement développées, à écailles fulcrales bordant les nageoires, à notochorde nue, à demi-vertèbres peu ou point développées, etc. Les *Platysomes* et les genres voisins appartiennent au terrain carbonifère et au permien.

b. Les *Pleurolépides* liasiques diffèrent des *Platysomiens stylodontes* seulement par leur homocercie bien prononcée.

c. Les *Pycnodontiens vrais* des temps jurassiques, crétacés et tertiaires sont homocerques eux aussi, mais les écailles fulcrales font ici défaut ; les demi-vertèbres sont développées d'une manière plus ou moins parfaite. Leur dentition très-caractéristique et assez diversifiée offre d'excellents caractères de genres.

α Les *Pycnodontiens mésozoïques* avaient la notochorde en partie nue, le développement des demi-vertèbres étant moins parfait. Les côtes dermales formaient chez quelques-uns un treillage tout autour du corps, comme chez les précédents ; chez les autres seulement sur la partie antérieure, comme chez les suivants.

β Les *Pycnodontiens néozoïques* (éocènes[1]) avaient les demi-vertèbres développées et recouvrant, par conséquent, entièrement le notochorde ; les côtes dermales, assez délicates et compliquées quelquefois, n'envahissaient que la portion thoracique du tronc.

III. Troisième série : celle des *Ganoïdes crossoptères* ou des *Polyptériens*, représentées dans nos temps par les genres *Polypterus* et *Calamoichthys*. Les traits principaux communs à ceux-ci et à leurs représentants anciens du système dévonien sont les suivants : 1° l'absence des rayons de la membrane des ouïes, représentées ici seulement par deux plaques gulaires ; 2° la forme très-caractéristique des nageoires paires, formées d'une tige écailleuse souvent très-allongée et bordée des deux côtés des rayons comme d'une frange ; 3° la position très-reculée des nageoires ventrales ; 4° l'absence des écailles dites fulcrales ; 5° la forme de la queue diphyocerque ou se rapprochant de la hétérocercie, mais jamais en éventail.

Les *Polyptériens* vrais de l'époque actuelle sont les représentants immédiats des *Rhombodiptériens* paléozoïques (dévoniens et carbonifères) à écailles ossifiées, rhomboïdales, articulées comme celles des *Lépidostéides* et des *Polyptères*, à queue diphyocerque ou légèrement hétérocerque, à nageoire dorsale double et poussée en arrière, à base écailleuse des nageoires impaires, etc. Le caractère principal qui les sépare des *Polyptériens* repose donc dans la dorsale double et placée très en arrière. Ce sont les *Osteolepis*, les *Diplopterus*, les *Megalichthys* (à écailles lisses), les *Glyptolœmus* et *Glyptopémus* (à écailles et à os de la tête sculptés).

Les *Cyclodiptériens* contemporains présentent tout à fait le même ensemble de caractères, excepté un seul : celui des

[1] Une seule espèce de cette tribu dérive de la formation crétacée du Liban. Pour plus de détails concernant les *Pycnodontiens* vrais, leur structure et leur classification, le lecteur consultera surtout les ouvrages célèbres de feu M. Heckel.

écailles ; celles-ci sont ossifiées et émaillées, il est vrai, quelquefois même assez épaisses, lisses ou sculptées comme chez les précédents ; mais au lieu de la forme, de la position réciproque et de l'articulation, commune aux *Euganoïdes*, aux *Rhombodiptériens* et aux *Polyptériens*, nous trouvons ici la forme ronde dite Cycloïde, la superposition imbriquée des Téléostéens ordinaires. Comme chez les Rhombodiptériens, il y a parmi les *Cyclodiptériens* une division lisse (*Ctenodus*, *Dipterus*) et une autre à crâne et à écailles sculptées (*Glyptolepis*, *Holoptychius*, *Gyroptychius*, etc.).

Chez un certain nombre, au moins, de ces *Diptériens* rhombifères ou cycloïdes, sinon chez tous, l'épine dorsale possédait déjà, à ce qu'il paraît, un degré de développement peu ou point inférieur à celui des *Polyptères* de nos jours ; chez d'autres genres voisins, le *Phanéropleuron*, par exemple, genre dévonien différent des *Cyclodiptériens* par la nageoire dorsale indivise et occupant la moitié postérieure du dos : une notochorde nue se combine avec des côtes, des apophyses et des rayons ossifiés, comme chez les *Lépidostéides* et les *Lépidopleurides* anciens.

Le grand espace de temps qui sépare les *Diptériens* paléozoïques des *Polyptériens* vivants, est comblé en partie par le groupe remarquable des *Célacanthiens*, présentant une combinaison toute particulière de caractères zoologiques et anatomiques uniques, par exemple la structure de la queue, les interspinaux particuliers de la nageoire anale et des deux dorsales, la vessie natatoire ossifiée) avec des traits moins anormaux empruntés aux autres Ganoïdes crossoptères (savoir, les plaques gulaires, les nageoires paires en frange, la base écailleuse des nageoires impaires, la duplicité de la dorsale, etc.). Il tire son origine de la période de la houille, et se maintient avec une persistance de type rare à travers toutes les époques géologiques, jusque dans la formation crétacée, où il s'éteint. Pouvant cependant renvoyer le lecteur aux ouvrages éminents de M. Huxley, à qui appartient le mérite

inestimable d'avoir si parfaitement saisi et si admirablement développé les rapports des différents types appartenant à la grande série polymorphe des *Ganoïdes crossoptères*, je m'abstiendrai d'en parler plus longuement ici, afin d'abréger autant que possible ce résumé.

Ici se termine le tableau des *Ganoïdes vrais*, sur la nature desquels il n'y a pas de doute, grâce à notre méthode de synthèse. Mais que faire donc de tous les autres types qui ont été rapportés aux *Ganoïdes* par un plus ou moins grand nombre d'auteurs? Je ne parlerai pas ici des *Siluroïdes*, qui sont de vrais Télostéens physostomes, ni des *Lophobranches* ou des *Plectognathes*, appartenant au sous-ordre des Téléostiens aphysostomes, ni des *Dercetiformes* ou *Hoplopleurides*, tribu assez remarquable et caractérisant l'époque crétacée, si l'on ne veut pas y ajouter les genres triasiques : *Belonorhynchus* et *Ichtyorhynchus*, dont la place dans le système est incertaine (peut-être faudra-t-il les ranger parmi les Aphysostomes?) mais qui n'a point de rapport avec les Ganoïdes. Mais il faut que je me prononce d'une manière plus explicite sur les autres types considérés généralement comme des Ganoïdes, savoir les *Lépidosirènes*, les *Esturgeons*, les *Amides*, les *Téléostéens jurassiques*, les *Acanthodiens* et les *Ganoïdes* dits *cuirassés*, types auxquels je n'ai pu *encore* accorder une place dans le tableau des *Ganoïdes*, vu que la méthode synthétique n'a pas encore prouvé ces liens intimes, ces rapports de structure, ces formes intermédiaires, cette filiation, en un mot, qui permettrait seule de les y placer. Néanmoins, il ne faut pas nier la possibilité que des découvertes ultérieures ne nous démontrent un jour ces liens encore inconnus [1], ni oublier que, il n'y a que peu d'années, on n'hésitait pas à refuser une place parmi les Ganoïdes aux *Aspidorhynques*, aux Célacanthes, aux Pycnodontes, que nous

[1] Dans ces jours mêmes, les journaux nous informent de la découverte, dans l'Australie, d'un genre nouveau de poisson d'eau douce, intermédiaire entre les *Lépidosirènes* et les *Diptériens* paléozoïques !

rangeons aujourd'hui sans hésitation parmi les Ganoïdes indubitables.

a. D'abord, les *Lépidosirènes* ou *Protoptères*, classés par quelques auteurs d'une autorité incontestable avec les Ganoïdes, mais considérés le plus souvent comme formant une sous-classe particulière (les *Dipnoi*), ne feront, selon mon opinion, qu'une tribu aberrante ou un sous-ordre des Téléostéens physostomes, à placer dans le voisinage immédiat des Ganoïdes et particulièrement des *Crossoptères* (*Phanéropleuron*, par exemple).

b. Puis les *Esturgeons* sont également les Téléostéens physostomes qui devront être classés le plus près possible des *Chondrostéens*, entre ceux-ci et les Ganoïdes, auxquels ils ne doivent cependant pas être réunis [1].

c. L'*Amia* se rapproche des Ganoïdes et des Chondrostéens par un nombre de particularités anatomiques assez remarquables; mais on ne serait pas plus autorisé à classer les *Amia* avec les Ganoïdes que de ranger les Esturgeons parmi les Sélaciens. C'est un type à part, du nombre des Téléostéens physostomes vrais, conduisant vers les Ganoïdes, mais ne s'y rattachant pas. Au reste, l'éloignement de ce genre du sous-ordre des Ganoïdes ne modifiera que peu le système paléichthyologique, celui-ci n'embrassant qu'un petit nombre d'*Amides* (*Notæus*, *Cyclurus*, *Amiopsis*), qu'il faudra peut-être réunir au genre *Amia* lui-même.

d. Aussi n'y a-t-il pas de raison positive de ranger les *Téléostéens jurassiques* (les *Leptolépides*, les *Megalures* et les *Catures*), ni avec les Amides, ni avec les Ganoïdes. Consultons la méthode synthétique ; elle nous conduira plutôt vers les *Halécoïdes*, c'est-à-dire vers les Saumons, les Harengs et les Clupésoces. Ce sont donc de vrais Téléostéens physostomes et excepté les *Belonorhynques*, etc. du Trias, les représentants les plus anciens de ce sous-ordre. De plus, il

[1] Les affinités du genre fossile *Chondrosteus* sont peut-être encore douteuses.

sera impossible de séparer les trois familles nommées ci-dessus, les unes des autres ; celui qui, avec les paléichthyologistes modernes, Heckel, Wagner, Pictet, placera les *Leptolépides* parmi les Téléostéens vrais, sera obligé d'y ranger de même les *Mégalures* et les *Catures*, malgré les écailles fulcrales bordant leurs nageoires ; la filiation des espèces, le croisement des caractères ne lui laisseront aucun choix. Les *Leptolépides* et les *Mégalures* ont les vrais vertèbres biconcaves des Téléostéens ; mais il n'y a rien d'étonnant dans ce fait, qu'il y avait parmi les Téléostéens les plus anciens un type (les *Catures*) à épine dorsale plus embryonnaire, c'est-à-dire à « vertèbres en anneau » ou à « demi-vertèbres. »

e. Si les *Acanthodiens* doivent être classés avec les Ganoïdes, ils en formeront indubitablement une division particulière ; mais je suis plutôt de l'avis des auteurs qui les regardent comme un type à part parmi les *Chondrostéens*. Le lecteur consultera avec avantage l'excellent exposé que M. Huxley a donné de cette question en 1861. Enfin, si l'on regarde cette famille remarquable comme la tribu des Ganoïdes s'approchant le plus des Sélaciens, ou, au contraire, comme le type Sélacien le plus voisin des Ganoïdes, cela n'importe pas beaucoup en réalité.

f. Enfin, quant aux *Placodermes*, je dois d'abord avouer que je ne comprends pas bien pourquoi l'on a tant insisté dernièrement sur la profonde diversité de type des *Céphalaspides*, d'un côté, et des *Coccostées* (et *Peterichthys*), de l'autre. M. Huxley regarde ceux-ci comme de vrais Téléostéens et place provisoirement les *Céphalaspides* avec les Esturgeons, en relevant en même temps leur analogie avec les Siluroïdes. Pour moi, ce sont tous des animaux de classement incertain, « incertae sedis, » dont les vraies affinités restent encore à découvrir. Si l'on veut encore persister à les regarder comme des « *Ganoïdes cuirassés,* » il faudra établir pour eux une division particulière (quatrième ou troisième) dans le sous-ordre des Ganoïdes.

Qu'est-ce donc qu'un Ganoïde? S'il en faut absolument, bon gré, mal gré, donner une définition, il faudra la formuler à peu près de cette manière : *Tout poisson* (abdominal, malacoptérygien, physostome) *à écailles osseuses articulées* (des *Lépidostées*) *ou enchâssées* (à la manière des *Pycnodontes*), *ou à plaques gulaires au lieu des rayons branchiostègues, et à nageoires paires frangées et écailleuses* (des *Polyptères*) *ou qui combine plusieurs de ces caractères, sera classé parmi les Ganoïdes* [1]. — Et quant à la place et au rang qu'occuperont les Ganoïdes dans le système, il faudra en former un sous-ordre des Téléostéens physostomes, touchant aux Chondrostéens, séparé de ceux-ci par les Esturgeons et entouré des Téléostéens jurassiques, des Amides et des Protoptères. Le tableau de la partie du système ichthyologique qui nous occupe ici, présentera donc à peu près l'aspect suivant :

Première sous-classe : Téléostéens éleuthérobranches.

(*Poissons osseux à branchies libres*).

1er ordre : *Physoclistes ou Acanthoptères* (renfermant les *Acanthoptères*, les *Anacanthins* et les *Pharyngognathes* de Jean Müller, groupes qui ne peuvent être maintenus, et, en outre, les *Lophobranches* et les *Plectognates*, qu'on devra abaisser au rang de familles simples).

2me ordre : *Physostomes ou Malacoptères.*

- 1er sous-ordre : Les *Physostomes typiques* (correspondant aux *Physostomes* de Jean Müller, en y ajoutant les *Amides*, les *Leptolépides*, les *Mégalures* et les *Catures* de l'époque jurassique).
- 2me sous-ordre : Les *Ganoïdes.*

[1] Si même on préférait de supprimer entièrement le sous-ordre des Ganoïdes et de placer les trois familles des *Lépidostéides*, des *Lepidopleurides* et des *Polyptériens* tout simplement à la suite des *Silures*, des *Characins*, des *Cyprins*, des *Saumons* et des autres familles physostomes, le terme de « Ganoïde » devrait être regardé comme dénomination générale de ces trois familles si étroitement liées ensemble.

1re série : Les *Lépidostéides* ou *Euganoïdes.*
2me série : Les *Lépidopleurides* ou *Pycnodontiens.*
1re famille : Les Platysomiens.
2me « Les Pleurolépides.
3me « Les Pycnodontiens vrais.
3me série : Les *Crossoptères* ou *Polyptériens.*
1re sous-série : Les *Crossoptères rhombifères.*
1re famille : Les Polyptériens.
2me « Les Rhombodiptériens.
2me sous-série : Les *Crossoptères cycloïdes.*
1re famille : Les Cyclodiptériens.
2me « Les Phanéropleures.
3me « Les Célacanthiens.
3me sous-ordre : Les *Lépidosirènes* ou *Protoptères.*
4me « Les *Esturgeons* ou *Acipensérides.*

Deuxième sous-classe : Chondrostéens desmobranches.

(*Poissons cartilagineux à branchies fixes*).

3me ordre : *Sélaciens.*
1er sous-ordre : Les *Acanthodiens.*
2me « « *Pleuracanthiens.*
3me « « *Chimériens.*
4me « « *Squales.*
5me « « *Raies.*
4me ordre : Les *Cyclostomes.*
5me « Les *Branchiostomes.*
Incertæ sedis.
6me « Les *Placodermes* (*Céphalaspides*, etc.)

En terminant cet abrégé, certainement trop court pour que le lecteur puisse juger de la justesse de mes vues, mais suffisant peut-être pour en donner une idée, j'y ajouterai encore deux mots, savoir, que mon mémoire est illustré de quelques (14) figures gravées sur bois, présentant des images, restaurées en partie, des principaux types du système paléichthyologique ; ensuite, que le tableau ichtho-géologique y annexé, comparé à celui du grand ouvrage de M. Agassiz, fournira les moyens de saisir d'un seul coup d'œil les principaux progrès faits dans la paléichthyologie depuis 1843 jusqu'en 1869.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES A L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

sous la direction de

M. le prof. E. PLANTAMOUR

PENDANT LE MOIS DE FÉVRIER 1871.

Le 2, couronne lunaire dans la soirée.
3, brouillard presque tout le jour.
7, brouillard le soir.
8, brouillard le matin.
9, à la suite des pluies chaudes des jours précédents, la neige qui recouvrait le sol dans la plaine depuis le 22 décembre a disparu, sauf dans les endroits où elle avait été accumulée par le vent, ou artificiellement. Le sol a été couvert de neige pendant 7 semaines consécutives.
10, il est retombé un peu de neige qui a légèrement blanchi le sol pendant quelques heures.
17, 18, brouillard épais tout le jour.
19, brouillard le matin et le soir.
20, brouillard le matin.
23, forte gelée blanche.
24, un peu de brouillard le matin.
25, forte gelée blanche.
26, id.

Valeurs extrêmes de la pression atmosphérique.

MAXIMUM.	mm	MINIMUM.	mm
Le 1 à 8 h. matin	734,85	Le 4 à 2 h. après m.........	725,66
7 à 10 h. matin	733,59	11 à 6 h. matin.	713,64
18 à 10 h. matin	737,93	21 à 6 h. matin	727,56
24 à 8 h. matin...........	738,65	28 à 4 h. après m.	731,26

Jours du mois.	Baromètre. Hauteur moy. des 24 h.	Baromètre. Écart avec la hauteur normale	Température C. Moyenne des 24 heures	Température C. Écart avec la temp. normale.	Température C. Minim.	Température C. Maxim.	Tension de la vap. Moy. des 24 h.	Tension de la vap. Écart avec la tension normale.	Fract. de saturation en millièmes. Moy. des 24 h.	Fract. de saturation. Écart avec la fraction norm.	Fract. de saturation. Minim.	Fract. de saturation. Maxim.	Pluie ou neige. Eau tomb. d. les 24 h.	Pluie ou neige. Nomb. d'h.	Vent dominant.	Clarté moy. du Ciel.	Temp. du Rhône. Midi.	Temp. du Rhône. Écart avec la temp. normale.	Limnimètre à 11 h.
	millim.	millim.	o	o	o	o	millim.	millim.					mm.				o	o	cm.
1	734,15	+ 6,93	— 2,87	—3,07	— 4,5	+ 0,1	3,26	—0,99	890	+ 37	790	940	...	...	S. 1	0,98	4,0	— 0,7	107
2	731,50	+ 4,34	— 0,19	—0,46	— 3,0	+ 4,9	3,55	—0,71	804	— 48	480	950	...	...	SSO. 1	0,62	4,3	— 0,4	107
3	727,72	+ 0,62	— 1,38	—1,72	— 6,1	+ 4,1	3,96	—0,30	934	+ 84	780	1000	...	...	S. 1	0,99	4,4	— 0,3	107
4	726,03	— 1,02	+ 1,41	+1,00	— 0,6	+ 6,4	4,42	+0,15	877	+ 29	740	960	0,3	1	SO. 1	0,72	4,4	— 0,3	106
5	729,38	+ 2,39	+ 1,03	+0,55	— 3,3	+ 5,3	4,49	+0,21	889	+ 44	770	950	0,5	2	S. 1	0,93	—	—	106
6	731,81	+ 4,88	+ 6,09	+5,54	+ 2,5	+10,0	5,74	+1,45	816	— 27	630	950	2,9	7	O. 1	0,98	4,5	— 0,2	100
7	732,87	+ 6,00	+ 3,36	+2,73	— 0,5	+ 6,4	5,61	+1,31	967	+126	870	1000	0,9	2	variable	0,70	4,7	0,0	100
8	730,68	+ 3,87	+ 3,87	+3,16	— 0,4	+10,0	5,44	+1,13	901	+ 62	510	1000	2,6	5	SO. 1	0,96	4,6	— 0,2	100
9	725,05	— 1,69	+ 5,33	+4,54	+ 1,6	+ 9,7	5,08	+0,76	783	— 54	500	960	4,5	5	NO. 1	0,79	4,7	— 0,1	100
10	723,26	— 3,42	+ 1,81	+0,93	— 0,8	+ 5,7	4,25	—0,08	827	— 8	620	990	2,2	5	S. 1	0,94	4,6	— 0,2	105
11	718,77	— 7,84	+ 1,56	+0,59	+ 0,2	+ 4,7	4,30	—0,04	851	+ 18	700	1000	0,3	2	NNE. 1	0,93	4,7	— 0,1	110
12	727,69	+ 1,14	— 2,04	—3,10	— 2,6	— 0,7	3,25	—1,10	842	+ 11	700	900	...	...	NNE. 1	0,91	—	—	110
13	728,70	+ 2,22	— 1,46	—2,61	— 3,9	+ 1,0	3,62	—0,74	884	+ 55	770	970	...	...	variable	0,92	3,9	— 1,0	111
14	731,96	+ 5,54	+ 0,54	—0,70	— 3,0	+ 4,7	4,00	—0,37	843	+ 16	700	940	...	...	NNE. 1	0,13	4,1	— 0,8	112
15	732,69	+ 6,32	+ 0,18	—1,15	— 2,3	+ 2,2	4,05	—0,32	875	+ 51	760	920	...	...	N. 1	1,00	4,2	— 0,7	112
16	733,36	+ 7,05	+ 0,02	—1,41	— 0,8	+ 2,0	4,00	—0,38	888	+ 66	690	940	...	...	variable	0,94	4,3	— 0,6	113
17	734,93	+ 8,67	— 1,84	—3,37	— 3,0	+ 0,5	3,92	—0,46	986	+167	900	1000	...	...	variable	1,00	4,0	— 1,0	113
18	737,46	+11,25	— 0,60	—2,23	— 1,9	+ 2,0	4,20	—0,19	961	+145	770	1000	...	...	variable	0,97	4,1	— 0,9	113
19	735,37	+ 9,22	— 0,17	—1,90	— 2,5	+ 5,0	4,22	—0,17	945	+131	740	1000	...	...	E. 1	0,60	—	—	113
20	730,66	+ 4,56	+ 2,19	+0,36	— 4,2	+11,9	4,46	+0,06	839	+ 28	420	1000	0,7	1	SO. 1	0,69	4,1	— 1,0	113
21	728,24	+ 2,19	+ 3,68	+1,74	+ 0,4	+ 8,8	4,62	+0,21	802	— 6	700	900	0,4	2	S. 1	0,57	4,3	— 0,8	113
22	734,36	+ 8,36	+ 1,70	—0,35	— 2,8	+ 6,8	4,13	—0,29	803	— 3	600	990	...	...	N. 1	0,10	4,3	— 0,8	113
23	737,09	+11,15	+ 1,92	—0,24	— 3,3	+ 9,0	4,00	—0,43	770	— 33	540	1000	...	...	variable	0,17	4,4	— 0,8	113
24	737,73	+11,84	+ 2,13	—0,14	— 3,4	+ 7,7	3,93	—0,51	776	— 25	530	1000	...	...	variable	0,13	4,6	— 0,6	112
25	737,28	+11,45	+ 3,22	+0,84	— 2,7	+ 9,6	4,57	+0,12	781	— 17	590	930	...	...	N. 1	0,00	4,7	— 0,6	111
26	734,84	+ 9,06	+ 7,10	+4,61	— 2,6	+15,4	4,10	—0,36	560	—235	330	910	...	...	SSO. 1	0,33	—	—	111
27	732,58	+ 6,86	+ 8,75	+6,15	+ 1,5	+15,1	4,96	+0,49	592	—201	380	770	...	...	SO. 1	0,71	4,8	— 0,5	111
28	731,94	+ 6,27	+10,37	+7,66	+ 4,6	+18,2	4,90	+0,42	554	—236	330	780	...	...	OSO. 1	0,17	4,9	— 0,5	111

MOYENNES DU MOIS DE FÉVRIER 1871.

	6 h. m.	8 h. m.	10 h. m.	Midi.	2 h. s.	4 h. s.	6 h. s.	8 h. s.	10 h. s.
Baromètre.									
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	729,61	729,76	730,03	729,60	728,89	728,65	728,41	728,28	728,34
2e «	730,56	731,23	731,55	731,53	731,04	731,03	731,41	731,84	732,14
3e «	734,26	734,80	734,91	734,54	733,87	733,65	734,00	734,52	734,79
Mois	731,28	731,73	731,97	731,70	731,08	730,93	731,08	731,33	731,54
Température.									
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1re décade	+ 0,06	+ 0,53	+ 2,04	+ 4,26	+ 4,65	+ 4,25	+ 2,98	+ 1,79	+ 1,24
2e «	— 1,75	— 1,66	— 0,50	+ 0,57	+ 1,78	+ 2,59	+ 1,33	+ 0,66	+ 0,04
3e «	— 0,04	+ 0,69	+ 5,46	+ 9,12	+ 9,76	+ 9,48	+ 7,79	+ 5,46	+ 3,87
Mois	— 0,62	— 0,20	+ 2,11	+ 4,33	+ 5,09	+ 5,15	+ 3,76	+ 2,44	+ 1,56
Tension de la vapeur.									
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	4,45	4,55	4,71	4,60	4,78	4,44	4,46	4,80	4,68
2e «	3,87	3,83	4,03	4,00	4,11	4,07	4,15	4,10	4,12
3e «	4,00	4,09	4,40	4,64	4,57	4,67	4,62	4,43	4,43
Mois	4,12	4,16	4,38	4,40	4,48	4,37	4,40	4,45	4,61
Fraction de saturation en millièmes.									
1re décade	944	933	872	740	742	718	780	907	917
2e «	961	939	910	840	793	745	824	859	885
3e «	880	850	681	565	529	548	597	676	749
Mois	932	911	831	726	699	679	744	824	858

	Therm. min.	Therm. max.	Clarté moy. du Ciel.	Température du Rhône.	Eau de pluie ou de neige.	Limnimètre.
	0	0		0	mm	cm
1re décade	— 1,51	+ 6,26	0,86	4,47	13,9	103,8
2e «	— 2,40	+ 3,33	0,81	4,18	1,0	112,0
3e «	— 1,04	+11,32	0,27	4,57	0,4	111,9
Mois	— 1,69	+ 6,66	0,67	4,40	15,3	109,0

Dans ce mois, l'air a été calme 9,13 fois sur 100.

Le rapport des vents du NE. à ceux du SO. a été celui de 0,67 à 1,00.

La direction de la résultante de tous les vents observés est S. 63°,7 O., et son intensité est égale à 17,1 sur 100.

TABLEAU

DES

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AU SAINT-BERNARD

pendant

LE MOIS DE FÉVRIER 1871.

Le 1, brouillard jusqu'à 8 h. du matin.
4, id. la plus grande partie de la journée.
6, id. depuis 8 h. du matin.
7, id. jusqu'à 4 h. du soir.
8, 9, id. toute la journée.
10, id. le matin et le soir.
11, id. jusqu'à 4 h. de l'après-midi.
21, id. à peu près tout le jour. La neige tombée n'est pas en assez grande quantité pour pouvoir être mesurée.

Valeurs extrêmes de la pression atmosphérique.

MAXIMUM	mm	MINIMUM.	mm
Le 1 à 10 h. matin	566,23	Le 3 à 6 h. matin	562,58
6 à 10 h. matin	566,47	11 à 8 h. matin	549,87
18 à 4 h. après m.	570,00	21 à 4 h. après m.	560,54
24 à 10 h. soir	575,75	28 à 6 h. matin	568,22

SAINT-BERNARD. — FÉVRIER 1871.

Jours du mois	Baromètre.				Température C.				Pluie ou neige.			Vent dominant.	Clarté moyenne du Ciel.
	Hauteur moy. des 24 heures.	Écart avec la hauteur normale.	Minimum.	Maximum.	Moyenne des 24 heures.	Écart avec la température normale.	Minimum*	Maximum*	Hauteur de la neige.	Eau tombée dans les 24 h.	Nombre d'heures.		
	millim.	millim.	millim.	millim.	0	0	0	0	millim.	millim			
1	565,72	+ 5,27	565,33	566,23	—13,15	— 4,08	—14,6	—11,3	.....	.....	....	SO. 1	0,72
2	564,67	+ 4,25	564,09	565,45	— 8,72	+ 0,34	—10,4	— 6,0	.....	.....	....	SO. 1	0,08
3	563,00	+ 2,62	562,58	563,46	— 5,82	+ 3,23	— 8,3	— 3,8	.....	.....	....	SO. 1	0,79
4	563,13	+ 2,79	562,83	563,49	— 7,67	+ 1,37	— 8,6	— 6,8	.....	.....	....	SO. 1	0,81
5	565,00	+ 4,70	563,73	566,01	— 5,35	+ 3,68	— 8,4	— 1,8	.....	.....	....	SO. 1	0,43
6	565,27	+ 5,00	564,26	566,47	— 5,22	+ 3,80	— 6,7	— 1,4	.....	.....	....	NE. 3	0,89
7	565,51	+ 5,28	565,13	566,08	— 6,77	+ 2,24	— 7,3	— 5,5	.....	.....	....	NE. 3	0,67
8	564,19	+ 3,99	563,23	564,79	— 3,80	+ 5,19	— 4,8	— 2,0	.....	.....	....	NE. 3	0,93
9	558,41	— 1,76	557,74	559,49	— 8,65	+ 0,32	—12,4	— 3,8	.....	.....	....	NE. 3	0,98
10	555,33	— 4,81	551,08	558,85	—12,20	— 3,25	—14,2	— 9,4	.....	.....	....	NE. 1	0,72
11	552,87	— 7,23	549,87	555,87	—12,46	— 3,53	—13,8	— 8,4	70	5,6	5	NE. 2	0,96
12	558,84	— 1,23	557,49	559,69	—12,09	— 3,18	—16,6	— 8,8	.....	.....	....	NE. 1	0,08
13	561,85	+ 1,81	560,19	563,52	— 7,88	+ 1,00	— 9,3	— 5,0	.....	.....	....	NE. 1	0,22
14	564,86	+ 4,85	563,68	566,01	— 6,63	+ 2,22	—10,0	— 4,0	.....	.....	....	NE. 1	0,01
15	566,03	+ 6,05	565,96	566,23	— 3,43	+ 5,39	— 5,4	— 0,2	.....	.....	....	NE. 1	0,01
16	566,90	+ 6,95	566,24	567,82	— 3,01	+ 5,78	— 5,4	— 0,8	.....	.....	....	NE. 1	0,00
17	568,55	+ 8,63	567,96	569,36	— 2,49	+ 6,27	— 4,2	0,0	.....	.....	....	NE. 1	0,01
18	569,64	+ 9,75	569,38	570,00	— 1,75	+ 6,98	— 3,8	+ 0,8	.....	.....	....	NE. 1	0,06
19	568,56	+ 8,69	568,30	568,99	— 1,67	+ 7,02	— 3,2	+ 2,5	.....	.....	....	NE. 1	0,02
20	565,25	+ 5,40	564,06	567,58	— 4,24	+ 4,41	— 5,9	— 0,6	.....	.....	....	NE. 1	0,00
21	561,09	+ 1,26	560,54	562,49	— 8,52	+ 0,09	—11,9	— 6,3	.....	.....	....	NE. 1	0,88
22	566,33	+ 6,52	563,74	568,25	— 9,79	— 1,22	—14,2	— 5,5	.....	.....	....	NE. 1	0,01
23	568,48	+ 8,69	568,30	568,93	— 7,37	+ 1,16	—10,2	— 5,3	.....	.....	....	NE. 2	0,11
24	572,11	+12,34	570,97	575,75	— 0,54	+ 7,95	— 4,2	+ 5,8	.....	.....	....	NE. 1	0,09
25	572,96	+13,21	572,71	573,21	+ 1,28	+ 9,72	— 2,2	+ 5,0	.....	.....	....	NE. 1	0,01
26	571,34	+11,61	570,74	571,95	— 1,00	+ 7,39	— 2,8	+ 3,5	.....	.....	....	SO. 1	0,24
27	568,94	+ 9,23	568,61	569,30	— 1,83	+ 6,51	— 3,8	+ 1,8	.....	.....	....	variable	0,58
28	568,52	+ 8,82	568,22	568,82	— 0,80	+ 7,49	— 4,2	+ 1,6	.....	.....	....	NE. 1	0,07

Les chiffres renfermés dans ces colonnes donnent la plus basse et la plus élevée des températures observées depuis 6 heures du matin à 10 heures du soir, le thermométrographe étant hors de service.

MOYENNES DU MOIS DE FÉVRIER 1871.

Baromètre.

	6 h. m.	8 h. m.	10 h. m.	Midi.	2 h. s.	4 h. s.	6 h. s.	8 h. s.	10 h. s.
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	563,34	563,51	563,63	563,30	562,95	562,84	562,79	562,62	562,59
2e »	563,79	563,84	564,12	564,24	564,31	564,47	564,68	564,90	565,02
3e »	568,34	568,54	568,68	568,64	568,49	568,50	568,79	569,14	569,74
Mois	564,93	565,06	565,25	565,16	565,02	565,04	565,18	565,30	565,50

Température.

	6 h. m.	8 h. m.	10 h. m.	Midi.	2 h. s.	4 h. s.	6 h. s.	8 h. s.	10 h. s.
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1re décade	— 7,95	— 7,90	— 7,32	— 6,72	— 6,65	— 6,89	— 7,70	— 7,68	— 7,72
2e »	— 7,67	— 6,93	— 4,53	— 3,02	— 2,75	— 3,87	— 5,89	— 6,15	— 6,19
3e »	— 5,94	— 4,76	— 1,82	— 0,25	— 1,40	— 2,86	— 3,46	— 4,00	— 4,55
Mois	— 7,27	— 6,66	— 4,75	— 3,55	— 3,76	— 4,66	— 5,84	— 6,08	— 6,27

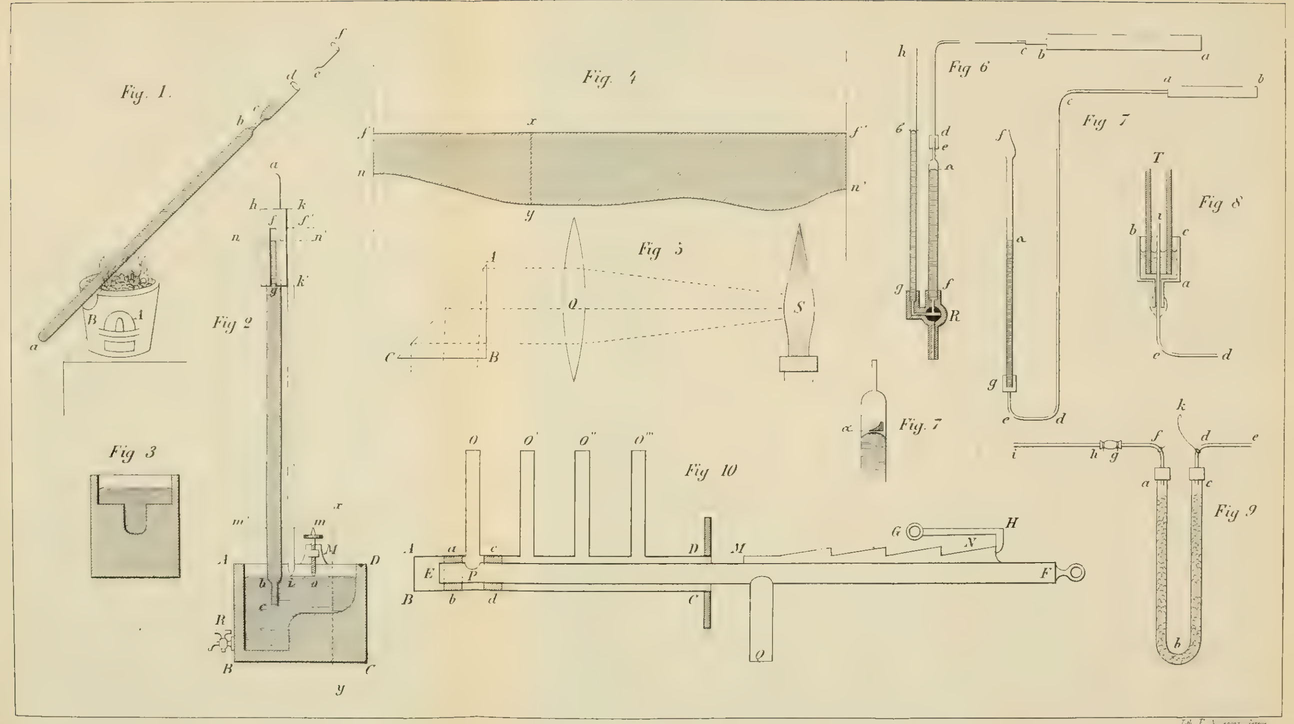
	Min. observé.*	Max. observé.*	Clarté moyenne du Ciel.	Eau de pluie ou de neige.	Hauteur de la neige tombée.
	0	0		mm	mm
1re décade	— 9,57	— 5,18	0,70	—	—
2e »	— 7,76	— 2,45	0,14	5,6	70
3e »	— 6,69	+ 0,07	0,25	—	—
Mois	— 8,10	— 2,70	0,37	5,6	70

Dans ce mois, l'air a été calme 12,3 fois sur 100.

Le rapport des vents du NE. à ceux du SO. a été celui de 5,30 à 1,00.

La direction de la résultante de tous les vents observés est N. 45° E., et son intensité est égale à 73,4 sur 100.

* Voir la note du tableau.



Lith. J. Veiraz Genève

DES TRANSFORMATIONS

QUE SUBISSENT

LES SPECTRES DES GAZ INCANDESCENTS

AVEC

LA PRESSION ET LA TEMPÉRATURE

PAR M. WÜLLNER

(avec une planche)

Nous avons donné, lors de leur publication, une analyse détaillée des deux intéressants mémoires de M. Wüllner, sur les différentes formes que le spectre d'un gaz incandescent est susceptible de revêtir lorsqu'on fait varier sa pression et sa température [1]. Nous n'aurions donc pas eu besoin de revenir sur cette question que nous avons traitée tout au long, si nous n'avions désiré donner à nos lecteurs une représentation exacte des différents spectres observés par M. Wüllner avec un seul et même gaz, afin que chacun d'eux puisse se faire une idée claire de la découverte du physicien allemand, et en mesurer l'importance.

La planche que nous donnons aujourd'hui (Pl. V), et qui représente les différents spectres de l'hydrogène et de l'aluminium, n'a paru encore que dans les mémoires de la *Société Rhénane des Sciences naturelles* [2], fort peu ré-

[1] Ce travail a été exécuté par M. Wüllner avec la collaboration de M. Bettendorff, mais la découverte du spectre de premier ordre de l'hydrogène, qui en a été le point de départ, appartient exclusivement au premier de ces deux physiciens.

[2] *Festschrift der niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde.* Bonn, chez A. Marcus, 1868.

pandus en dehors de l'Allemagne. Il nous a donc semblé qu'il ne serait pas inutile de la reproduire dans notre journal. M. Wüllner a bien voulu se charger de faire refaire cette planche et d'en surveiller l'exécution ; nous pouvons donc en garantir la parfaite exactitude. Renvoyant, pour les détails, aux deux articles que nous avons insérés dans les numéros de juillet et de septembre 1869, nous nous bornerons ici à accompagner cette planche de quelques lignes explicatives.

MM. Plücker et Hittorff furent les premiers à reconnaître que certains gaz peuvent donner deux spectres différents, suivant les circonstances de température et de pression dans lesquelles on les place. Cette observation, qu'ils firent sur l'azote et les vapeurs de soufre avec lesquels ils obtinrent tantôt un spectre à bandes, cannelé (spectre de premier ordre), tantôt un spectre à raies brillantes (spectre de second ordre), était demeurée jusqu'ici un fait isolé. M. Wüllner l'a généralisée dans le travail que nous rappelons ici, et a trouvé, comme nos lecteurs s'en souviennent, qu'un même gaz présente au moins trois spectres différents : un spectre de premier ordre, un spectre de second ordre et un spectre absolument continu comme ceux des corps solides ou liquides.

Pour ce qui concerne en particulier l'hydrogène, nous avons vu qu'en partant des pressions les plus basses qu'il ait pu atteindre avec la pompe de Sprengel, il avait obtenu d'abord un spectre de second ordre composé de six groupes de raies vertes [1], c'est ce spectre qui est désigné dans la planche par H III ; puis vers 2^{mm} le spectre ordinaire aux trois raies brillantes $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, désigné dans

[1] Pour la description détaillée de ce spectre, voir *Archives*, 1869, tome XXXV, p. 196.

la planche par H I; au delà, vers 30^{mm} à 60^{mm}, un magnifique spectre ombré et cannelé, spectre de premier ordre de l'hydrogène [1] désigné par H II dans la planche; enfin, aux pressions les plus élevées auxquelles il a pu opérer, c'est-à-dire vers trois atmosphères, un spectre absolument continu et tout semblable au spectre solaire, sauf qu'il ne présente pas comme lui de raies noires et qu'il est limité à l'intervalle compris entre les raies $H\alpha$ et $H\gamma$.

M. Wüllner a reconnu que ces différents spectres sont absolument distincts et qu'ils appartiennent bien réellement à l'hydrogène. Pour ce qui concerne le spectre H II, il suffit de la simple inspection de la planche pour se convaincre qu'il est entièrement différent du spectre bien connu de l'azote auquel M. Dubrunfaut [2] avait cru pouvoir l'assimiler, pensant que les nouveaux spectres décrits par M. Wüllner tenaient à la présence de gaz étrangers, et en particulier d'azote mélangés à l'hydrogène. Quant au spectre H III, on pouvait objecter qu'il aurait pu appartenir soit aux vapeurs incandescentes d'aluminium provenant des électrodes, soit aux vapeurs de mercure développées dans l'aspirateur Sprengel, soit aux acides phosphoriques et sulfuriques qui avaient servi à dessécher le gaz, ou bien enfin aux hydrogènes carbonés résultant de la décomposition des graisses des robinets. M. Wüllner s'est assuré qu'il n'y avait aucune coïncidence entre le spectre H III et ceux de ces différents corps. L'étude

[1] Pour le détail de ce spectre de premier ordre de l'hydrogène, qui est le même que celui que M. Wüllner a obtenu dans des tubes de Plücker à hydrogène, modifiés par un long usage, et que celui que MM. Reitlinger et Kuhn (*Archives*, 1870, t. XXXIX, p. 260) ont observé à l'électrode négative d'un tube de Geissler à hydrogène, voir *Archives*, 1869, t. XXXV, p. 193.

[2] Voir *Archives*, 1870, tome XXXVII, p. 262.

qu'il fit à cette occasion du spectre de l'aluminium l'amena à faire une observation qui n'est pas sans présenter un haut intérêt [1]; il reconnut en effet que le spectre fourni par l'étincelle d'induction lorsqu'elle jaillit à l'air libre entre deux électrodes d'aluminium est susceptible de revêtir des formes très-différentes, suivant l'intensité et la longueur de la décharge, comme on peut le voir par la planche. Lorsque l'écartement des électrodes était seulement de deux millimètres, le spectre de l'aluminium consistait en effet en quatre champs lumineux disposés au milieu du spectre, également larges et également espacés. Chacune de ces bandes est traversée par sept lignes brillantes qui lui donnent l'apparence d'une colonne cannelée. L'éclat qu'elles présentent est maximum pour chacune d'elles dans la partie la plus réfrangible, et va en diminuant graduellement vers la partie la moins réfrangible. Ce spectre, qui est le spectre de premier ordre de l'aluminium est désigné dans la planche par Al I.

Lorsque la distance des électrodes d'aluminium était devenue égale à dix millimètres ou même plus grande, le spectre obtenu était tout différent. Les bandes cannelées avaient entièrement disparu et avaient cédé la place à un certain nombre de lignes brillantes répandues sur un spectre continu d'un très-faible éclat. Ce spectre de second ordre de l'aluminium est désigné dans la planche par Al II. Les positions de ces différentes lignes rapportées à l'échelle du spectroscope, laquelle est reproduite dans la planche, sont les suivantes [2] :

[1] *Poggend. Annalen*, 1868, tome CXXXV, p. 512.

[2] Ces mesures ont été exécutées avec un spectroscope de Meyerstein, dont le prisme présente un angle de 60° 2′ et qui donne pour $H\alpha$ un indice de réfraction égal à 1,743355, pour $H\gamma$ un indice de ré-

1.	Belle ligne double	62°42′
2.	Groupe de trois lignes faibles dont la première à	63° 0′
3.	Une raie brillante	63°51′
4.	Une ligne brillante	64°17′
5.	Raie brillante	64°22′
6.	Ligne faible	65° 5′
7.	Ligne médiane d'un groupe considérable	65°47′
8.	Ligne brillante	66°41′
9.	Ligne faible	66°47′

L'auteur ne le dit pas, mais il nous paraît probable que le fond lumineux pâle sur lequel se détachent ces lignes brillantes est le commencement du spectre absolument continu que les vapeurs d'aluminium donneraient à des températures plus élevées.

Nous n'insisterons pas sur les résultats que M. Wüllner avait obtenus dans son travail pour l'oxygène et l'azote et qui concordent absolument avec ceux que lui avait donnés l'hydrogène. Nous nous bornerons à reproduire en terminant les conclusions générales que M. Wüllner présentait à ce sujet dans une lettre adressée récemment par lui à la rédaction des *Archives* :

« Il faut, dit-il, d'une manière générale distinguer chez « les gaz trois spectres différents, savoir : 1° un spectre « de premier ordre, spectre continu mais ombré et can- « nelé comme ceux que Plücker a observés avec l'azote « et le soufre et ceux que j'ai trouvés avec l'hydrogène, « l'oxygène et l'aluminium ; 2° un spectre de second or- « dre, composé de lignes brillantes isolées comme ceux « que donnent les gaz dans la plupart des cas; 3° un « spectre entièrement continu sans ombres. L'hydrogène « donne aux hautes pressions un spectre de cette nature « ne présentant aucun autre élément. Avec l'oxygène ce

fraction égal à 1,790564, Hα correspondant dans la division du spectroscope à 61°20′, Hγ à 67°10′.

« spectre continu se produit également, mais dans ce cas « les raies brillantes du spectre de second ordre se mon- « trent encore dans le vert, le bleu et le violet. Il se pro- « duit aussi avec l'azote, mais dans le cas de ce gaz l'on « obtient toujours, outre le spectre continu, le spectre « de second ordre tout entier. Je suis convaincu que si « l'on pouvait élever suffisamment la température des « gaz, on les amènerait tous finalement à donner ce der- « nier spectre absolument continu et sans ombres. »

M. Wüllner est arrivé non-seulement à produire avec l'hydrogène un spectre tout à fait continu, mais encore à obtenir avec ce même gaz incandescent à une haute pression le renversement de la raie spectrale du sodium tel qu'il se produit dans le spectre solaire. En effet, lorsque le jet atteint une température très-élevée, il échauffe fortement le verre du tube dans lequel il se produit et provoque le développement d'une certaine quantité de vapeur de sodium incandescente qui forme comme une atmosphère autour du jet lumineux. C'est dans ces conditions-là que M. Wüllner a observé le renversement de la raie du sodium qui arrive à se projeter en noir, comme une raie de Fraunhofer, sur le spectre continu de l'hydrogène. Ce double fait a une importance capitale, et l'on voit en particulier que pour ce qui tient à la théorie du soleil, l'on n'est plus obligé d'admettre un noyau solide ou liquide, mais que l'on peut aussi bien supposer que le corps central de cet astre est formé par des gaz incandescents et à une haute pression.

E. S.

SUR

UN NOUVEAU MANOMÈTRE

POUR

MESURER LES HAUTES PRESSIONS DES GAZ

PAR

M. V. REGNAULT.

Le meilleur manomètre pour mesurer les hautes pressions des gaz est, sans contredit, le manomètre à mercure à air libre. Mais il ne peut être établi que dans un bâtiment présentant une très-haute paroi verticale libre; de plus, il exige des constructions spéciales qui permettent d'observer le niveau du mercure en tous les points de la longue colonne en verre, formée par des tubes ajustés hermétiquement bout à bout. C'est donc un appareil très-coûteux, et l'on rencontre rarement, dans un laboratoire, les conditions qui permettent de l'installer.

Le manomètre à air comprimé, qu'il soit composé de tubes de verre, ou qu'il soit entièrement métallique et fondé sur les changements de forme que des spirales creuses de métal subissent par les variations de force élastique de l'air qu'elles contiennent, ne sont pas assez sensibles. Leur emploi est dangereux parce qu'ils sont sujets à des dérangements fréquents, dont on s'aperçoit rarement quand on n'a pas de moyen de contrôle.

J'ai décrit brièvement, dans le tome XXXI des *Mémoires de l'Académie des Sciences,* page 580, un nouveau manomètre à gaz qui permet de noter les plus hautes

pressions avec une grande exactitude et une sensibilité constante. Ce manomètre porte en lui les moyens nécessaires pour en vérifier l'exactitude aussi souvent qu'on le veut; il est peu coûteux, et on peut facilement l'installer partout. Comme je pense qu'il rendrait de grands services aux physiciens et aux chimistes, je crois qu'il ne sera pas inutile d'en donner ici une description plus complète.

La figure 1 (Planche VI) représente cet appareil.

Il se compose d'un tube de laiton AB, de 5 millimètres de diamètre intérieur, et à parois épaisses, afin qu'il puisse résister à de très-grandes pressions sans subir une augmentation sensible de capacité. Il est surmonté d'un robinet à trois voies R, terminé par une tubulure C à l'aide de laquelle on le fait communiquer avec le réservoir contenant l'air comprimé dont on cherche à connaître la force élastique. Le robinet R communique, par une tubulure latérale, avec un second robinet R′ qu'on ajuste à l'aide d'une seconde tubulure sur le large tube DE d'un manomètre DEGF, que la figure fait suffisamment comprendre.

Le tube DE a 20^{mm} de diamètre intérieur; le tube GF en a de 13 à 15. Les deux tubes ont été choisis aussi droits et aussi cylindriques que possible; ils portent chacun une division en millimètres. Ils communiquent par l'intermédiaire du robinet à trois voies R″, et ils sont fixés dans les tubulures en fonte du robinet avec du mastic à la résine, dans les conditions que l'on comprendra facilement à l'inspection de la figure.

La pièce à robinet R″, portant le manomètre, est fixée à l'aide de vis et d'un joint au minium sur un plateau circulaire HI en fonte, monté sur trois pieds de métal munis de

vis calantes. Un disque annulaire en fonte KL peut être fixé à l'aide de vis et d'un joint au minium sur le plateau HI. Ce disque est surmonté d'un canal annulaire de 2 centimètres de profondeur et de 2 à 3 centimètres de largeur. Ce canal est destiné à recevoir hermétiquement un manchon en verre. Pour cela, on remplit le canal de mastic à la résine fondu, puis on y plonge le manchon de verre MNN′M′. Le disque KL portant son manchon ne doit être fixé sur le trépied que quand l'appareil manométrique a été complétement ajusté.

Les tubes en verre du manomètre doivent être parfaitement verticaux; on le réalise facilement pendant l'installation des tubes, quand le mastic des tubulures est encore mou. On rectifie ensuite la verticalité à l'aide des vis calantes du trépied.

Dans la figure 1, le tube métallique AB se trouve dans le plan des deux tubes du manomètre. On a adopté cette disposition dans le dessin pour faire comprendre plus facilement l'appareil; mais en réalité le tube AB est en arrière du manomètre. Ainsi, les montures métalliques à robinets sont dans une direction perpendiculaire à celle que montre la figure.

Voyons maintenant comment on opère avec cet appareil.

Le manchon est rempli d'eau à la température ambiante. Un thermomètre indique sa température constante *t*. Les robinets R et R′ sont dans la position qu'indique la figure 1. On verse du mercure dans le tube FG, jusqu'à ce que le tube DE en soit complétement rempli, c'est-à-dire, jusqu'à ce que le mercure s'écoule par la tubulure O.

Dans la position (fig. 1) du robinet R, le tube AB

contient de l'air sec à la température t et sous la même pression que le réservoir. On donne au robinet R la position qu'il présente dans la figure 2. L'air du tube AB est ainsi isolé, et si l'on tourne alors le robinet R′ pour l'amener lentement dans la position qu'il montre dans la figure 2, l'air du tube AB se précipite dans le large tube DE. On ouvre en même temps le robinet R″ pour faire écouler le mercure et empêcher la pression de devenir trop forte dans le tube DE.

On amène les deux colonnes sensiblement au même niveau dans les deux branches du manomètre, et l'on note les divisions de ces tubes auxquelles s'arrêtent les niveaux des deux colonnes mercurielles. Cette simple observation suffit quand on a fait préalablement un jaugeage exact du tube DE. Soient :

H la hauteur du baromètre réduite à 0°,

h la différence de niveau des deux colonnes du manomètre, également réduite à 0°,

t la température constante de l'eau du manchon,

V le volume supposé constant du tube AB,

W le volume que l'air occupe dans le tube DE à la fin de l'expérience,

d le poids d'un litre d'air sec à 0° et sous la pression de 760^{mm},

x la force élastique inconnue de l'air dans le grand réservoir.

Au commencement de l'expérience, le tube métallique AB est rempli d'air sec à la température t et sous la pression cherchée x; son poids est exprimé par

$$Vd \frac{1}{1+\alpha t} \cdot \frac{x}{760} \cdot$$

A la fin de l'expérience, cet air restant à la même température t a pris le volume V+W, mais la force élastique est alors H+h. Son poids est donc représenté par

$$(V+W)\, d \frac{1}{1+\alpha t} \frac{H+h}{760}.$$

Ces deux poids doivent être égaux, on a donc

$$V d \frac{1}{1+\alpha t} \frac{x}{760} = (V+W)\, d \frac{1}{1+\alpha t} \frac{H+h}{760},$$

ou simplement

$$Vx = (V+W)(H+h),$$

d'où

$$x = \frac{V+W}{V}(H+h).$$

Mais il faut connaître très-exactement les volumes V et W. Je commence par déterminer les volumes W qui correspondent aux diverses divisions du tube D E. Pour cela, le manomètre étant complétement rempli de mercure jusqu'à déversement par la tubulure O, j'enlève cette tubulure pour ôter le mercure qu'elle contient et qui ne doit pas entrer en compte, et je tourne graduellement le robinet R'' pour l'amener à la position que représente la figure 3. Je reçois dans un flacon le mercure qui s'écoule ainsi du seul tube D E jusqu'à ce que le niveau soit arrivé à une division n de ce tube ; ce flacon est mis de côté. Je recueille dans un second flacon le mercure qui s'écoule jusqu'à ce que le niveau s'arrête à une division n', très-peu différente de $2\,n$ .... et ainsi de suite, jusqu'à ce que le niveau s'arrête à une des divisions inférieures du tube.

Je pèse le mercure de ces flacons et je connais ainsi les poids P, P', P'' ..... de mercure qui remplissent la par-

tie supérieure du tube D E, quand le niveau du mercure s'arrête aux divisions n, n', n'' ...... Je construis une courbe en prenant les nombres n, n', n'' en millimètres pour abscisses et pour ordonnées les poids P, P', P'' .... de mercure. A l'aide de cette courbe je puis déterminer le poids de mercure qui correspond à un nombre quelconque N de divisions de l'échelle métrique du tube D E, et qui indique le volume W exprimé en poids de mercure. Il est clair que l'on peut remplacer la courbe par une table numérique dressée d'après cette courbe.

Il faut maintenant déterminer la capacité V du tube métallique AB, en l'exprimant également par le poids du mercure que ce tube contiendrait.

Le manomètre est rempli complétement de mercure; le tube métallique AB est rempli d'air à la température t et sous la pression barométrique H réduite à 0°: les robinets R et R' sont dans la position que montre la figure 1. Je mets les robinets R, et R' dans les positions de la figure 2, et je fais couler du mercure par le robinet R'' jusqu'à ce que le niveau s'arrête vers le bas du tube F G. Je note alors les divisions où les niveaux du mercure s'arrêtent dans les branches du manomètre, et j'en conclus à la fois le volume W et la dépression mercurielle h. J'ai alors

$$V d \frac{1}{1+\alpha t} \frac{H}{760} = (V+W) d \frac{1}{1+\alpha t} \frac{H-h}{760},$$

d'où

$$V = W \frac{H-h}{h}.$$

On peut répéter cette expérience un aussi grand nombre de fois que l'on veut et prendre la moyenne de toutes les valeurs ainsi trouvées pour V.

Dans une seconde série d'expériences, on remplira d'air sec sous la pression de l'atmosphère, non-seulement le tube métallique AB, mais aussi un volume connu v du tube DE; on aura alors un poids d'air représenté par

$$(V+v)\,d\,\frac{1}{1+\alpha t}\,\frac{H}{760};$$

puis, versant du mercure dans le tube FG, on refoule une portion de cet air dans le tube métallique AB jusqu'à ce que l'air n'occupe plus dans le tube DE qu'un petit volume v' qui permet néanmoins de mesurer l'excès de pression h'. Le poids de l'air est alors exprimé par

$$(V+v')\,d\,\frac{1}{1+\alpha t}\,\frac{H+h'}{760}.$$

On en déduit

$$V=\frac{vH-v'(H+h')}{h'}.$$

Les excès de pression h' qu'on peut obtenir sont limités par la hauteur du tube FG. Cette seconde série d'expériences donne de nouvelles valeurs de V que l'on peut comparer avec celles de la première série, et l'on peut constater ainsi le degré d'exactitude de l'instrument.

Les échelles métriques des deux tubes divisés du manomètre sont indépendantes l'une de l'autre; il faut donc chercher la différence de hauteur des zéros des deux échelles. Cela se fait facilement en remplissant le manomètre de mercure à différentes hauteurs, les deux tubes étant sous la pression de l'atmosphère, et notant les divisions correspondantes auxquelles les niveaux du mercure s'arrêtent. On vérifiera également ainsi l'exactitude

relative des deux échelles, leur parfait parallélisme, et, au besoin, on aura le moyen de corriger l'erreur résultant de ce que le parallélisme n'a pas été suffisamment réalisé.

J'ai négligé ici l'écart que l'air atmosphérique présente par rapport à la loi de Mariotte, mais il est facile de faire la correction qui en résulte, à l'aide des tables que j'ai données (*Mémoires de l'Académie des Sciences*, tome XXI, page 420).

J'ai admis également que les variations de la pression intérieure ne faisaient pas subir, au tube métallique AB, un changement appréciable de capacité. On peut, en effet, négliger ce changement dans la plupart des cas. Si l'on veut en tenir compte, il faut déterminer préalablement le coefficient de compressibilité sur le tube A B lui-même, ou sur un morceau du même tube, par la méthode que j'ai décrite (*Mémoires de l'Académie*, tome XXI, p. 435).

J'ai supposé que le tube métallique A B avait un diamètre intérieur de 5 millimètres, et que le diamètre intérieur du tube mesureur D E était de 20 millimètres. Le rapport des sections des deux tubes est donc celui de $\frac{25}{400}$ c'est-à-dire de $\frac{1}{16}$. Si donc on donne au tube A B la même longueur qu'au tube D E, le tube A B pourra tenir de l'air à 16 atmosphères, qui se détendra dans le tube mesureur, en se mettant en équilibre avec la pression atmosphérique extérieure. Ainsi le manomètre, dans ces conditions, pourra marquer jusqu'à 16 atmosphères. Il pourra marquer jusqu'à 32 atmosphères, si l'on ne laisse détendre l'air dans le manomètre que jusqu'à 2 atmosphères. Or cela est toujours facile si l'on conserve au tube F G sa longueur ordinaire de 1 mètre.

Enfin, si l'on diminue la longueur du tube métallique

A B, ou si l'on diminue sa section, on pourra se servir du manomètre pour mesurer les pressions les plus élevées. Il est utile, dans ce cas, de porter le plus grand soin à la détermination de la capacité V. On obtiendra plus d'exactitude, en remplissant le tube A B d'air sec sous la pression de 4 à 5 atmosphères, à la condition que l'on pourra mesurer cette pression très-exactement sur un manomètre à air libre, toujours facile à établir dans un laboratoire pour de si faibles pressions, et l'on fera détendre cet air dans le mesureur jusqu'à la pression de l'atmosphère.

Le manomètre que je viens de décrire peut être utilisé dans les laboratoires pour d'autres recherches, notamment pour déterminer la loi d'élasticité des gaz facilement liquéfiables à diverses températures, et pour des forces élastiques variant depuis les plus faibles jusqu'à celles de 2 à 3 atmosphères. Il serait à désirer que les chimistes voulussent bien faire ces déterminations pour les nouvelles substances très-volatiles qu'ils trouvent dans leurs recherches.

Genève, le 20 mars 1871.

SUR LES VARIATIONS

DU

COEFFICIENT DE DILATATION DES GAZ

PAR

M. E.-H. AMAGAT

Professeur à Fribourg

La dilatation des gaz a été étudiée par un grand nombre de physiciens, Gay-Lussac en particulier exécuta sur ce sujet un travail qui fit longtemps autorité dans la science et qu'il résuma ainsi :

1° Tous les gaz se dilatent également.

2° Leur dilatation est indépendante de la pression.

3° Le coefficient de dilatation de tous les gaz entre 0° et 100° est 0,00375.

Depuis, les travaux de M. Regnault ont montré que ces lois ne sont qu'approximatives. Les gaz ont entre 0° et 100° des coefficients différents, et ces coefficients sont variables avec la pression ; mais on n'a pas cherché jusqu'à présent comment ils varient avec la température ; c'est cette question que je me suis proposée et qui fait l'objet du présent mémoire.

M. Regnault, il est vrai, a comparé les températures indiquées par des thermomètres plongés dans une même enceinte et formés de gaz différents, mais dans ces expériences la pression était variable, les écarts de la loi de Mariotte intervenaient dans les résultats, on ne peut donc rien en conclure pour la dilatation à pression constante.

Cette question a une grande analogie avec celle des écarts de la loi de Mariotte, c'est une cause du même ordre qui produit ces écarts et les variations des coefficients de dilatation, et, comme les écarts de la loi de Mariotte diminuent avec la température, il est naturel de penser que les variations en question tendent à s'effacer quand la température croît.

Mais ici une difficulté se présente : il faudrait pouvoir comparer de degré en degré les coefficients des différents gaz à celui d'un gaz dont le coefficient serait constant, c'est-à-dire dont les changements de volume seraient proportionnels aux accroissements de force vive des molécules. De fait, la question ainsi posée conduit à un cercle vicieux, car pour savoir si le coefficient d'un gaz est constant, il faudrait d'abord avoir un thermomètre donnant les températures absolues, et ce thermomètre, précisément, ne peut être construit qu'avec un corps dont il faudrait savoir d'abord si le coefficient est constant, ou comment il varie.

Cependant on peut chercher à tourner la difficulté en faisant intervenir les écarts de la loi de Mariotte. Comparons, en effet, un gaz comme l'acide sulfureux qui s'éloigne beaucoup de l'état de gaz parfait, avec un gaz comme l'air qui s'en écarte peu; admettons même pour un instant que l'air soit gaz parfait, nous commettrons une erreur, mais cette erreur sera très-petite relativement à la grandeur des différences que nous cherchons à obtenir.

Supposons maintenant qu'on ait déterminé par l'expérience, de degré en degré, les écarts de la loi de Mariotte pour différents gaz et pour l'air, on conçoit qu'on pourra établir une relation empirique entre ces écarts et la gran-

deur correspondante du coefficient de dilatation (le coefficient des différents gaz ayant été déterminé de degré en degré par rapport à celui de l'air considéré d'abord comme constant), et que cette relation appliquée à l'air lui-même fera connaître comment varie son propre coefficient, alors on comparera de nouveau les coefficients des autres gaz à celui de l'air ainsi modifié.

Cela revient, en définitive, à déduire le coefficient de dilatation de l'air à une température donnée de la manière dont ce gaz se comporte relativement à la loi de Mariotte à cette température.

Dans le présent travail j'ai seulement cherché à déterminer les coefficients de dilatation de l'acide sulfureux et de l'acide carbonique, de degré en degré, celui de l'air étant constamment représenté par le nombre 0,00367 donné par M. Regnault entre 0° et 100°.

Toutes mes expériences sont comprises entre 0° et 250°. Avant d'entrer dans l'examen des résultats, je décrirai d'abord la méthode expérimentale que j'ai adoptée après un grand nombre d'essais.

L'appareil que j'ai employé se compose de deux parties distinctes, dans l'une le gaz est porté à une température élevée, dans l'autre il est ramené à une température basse comprise généralement entre 0° et 10°.

La figure 1 (planche VII) représente la première partie de l'appareil.

A est une chaudière cylindrique en cuivre rouge de neuf litres de capacité, elle est remplie d'huile. Dans ce bain sont plongés deux cylindres en verre B,B′ aussi égaux que possible et faits de même verre, chacun d'eux est prolongé par un tube capillaire recourbé et terminé par un robinet d'acier travaillé avec soin. Ces deux pièces

sont maintenues par une double pince fixée à une colonne en fer qui porte en même temps la chaudière.

Chacun des robinets R,R′ est relié par un petit tube en caoutchouc à un tube en verre garni de ponce sulfurique; ces deux tubes sont eux-mêmes mastiqués dans un double T en cuivre muni de quatre robinets : *a*,*a*′,*f*,*g*, enfin les robinets *a*,*a*′ communiquent chacun avec une série de tubes en U, destinés à purifier et dessécher les gaz.

La première opération est le desséchage des cylindres B,B′ destinés à recevoir l'air et le gaz qu'on lui compare. Voici comment on opère : le robinet *f* étant ouvert, les deux cylindres sont en communication; on ferme les robinets *a*,*a*′, on ouvre *g* et on fait le vide avec une machine pneumatique; puis on ferme *g* et on ouvre *a*′, l'air de l'atmosphère rentre alors dans les cylindres après s'être purifié et desséché dans les tubes en U qui font suite au robinet *a*′. On recommence cette opération une trentaine de fois et l'appareil est desséché (pendant cette opération l'huile qui entoure les cylindres est maintenue à une température élevée). Ceci fait, on ferme le robinet *f*. Les cylindres B,B′ sont alors séparés, B′ reste plein d'air sec et pur. Pour remplir le cylindre B du gaz que l'on étudie, on opère quatre ou cinq fois comme précédemment en manœuvrant le robinet *a* au lieu de *a*′, ce robinet ayant été mis en communication par les tubes en U qui le suivent avec la source du gaz. Alors on ferme le robinet *g*, *a* et *a*′ restent ouverts et *f* fermé, on porte le bain d'huile à la température voulue, indiquée par un thermomètre T et rendue uniforme par un agitateur *K*.

Quand la température est devenue stationnaire, ce qu'on obtient facilement, on ferme les robinets R,R′ et

on a alors renfermé des volumes connus de gaz à une température connue et sous la pression actuelle de l'atmosphère (la source de gaz ayant été enlevée avant la fermeture des robinets).

On enlève alors les cylindres, on les nettoie et les place chacun dans une pièce telle que *abcd* (fig. 2). Chacune de ces pièces se compose de deux parties *aaa*, *bbb* reliées entre elles par une tringle *d* munie d'un pas de vis et disposée de telle sorte qu'en tournant la tête de cette tringle la partie *aaa* monte ou descend dans l'autre entraînant le cylindre B. Une tringle *c* qui traverse librement les pièces *aa*,*bb*, vient s'engager dans la clef du robinet R que l'on peut alors ouvrir ou fermer en tournant la tête de la tringle.

Ces deux pièces semblables, dont une seule est représentée sur la figure, sont placées symétriquement dans une boîte en fer fixée à une forte équerre en bois.

A la partie supérieure qui est plus large, cette boîte a sa face antérieure K et les deux faces latérales en glace; elle est remplie de mercure jusqu'en *n n* et par-dessus on verse une colonne d'eau.

Les robinets R, R' étant ouverts au moyen des tiges *c*, *c'* le mercure monte dans les cylindres, le gaz se contractant par le refroidissement; alors par le jeu des tringles *d*, *d'* on dispose les ménisques dans un même plan horizontal en les amenant sur le fil horizontal d'un cathétomètre placé en avant de l'appareil; pendant ce temps, un agitateur, qui n'est pas figuré sur le dessin, égalise la température de la colonne d'eau indiquée par un thermomètre T.

Fermons maintenant les robinets R, R' et nous renfermons dans chaque cylindre les gaz sous la même pression

et à la même température, en même temps qu'une certaine quantité de mercure ; enlevons les cylindres, vidons le mercure qu'ils contiennent, pesons-le, et nous aurons tous les éléments nécessaires pour calculer le rapport des coefficients de dilatation de l'air et du gaz étudié, entre la température du bain d'huile et celle de l'eau.

En effet, admettons d'abord pour simplifier que la pression des gaz soit rigoureusement la même dans les deux phases de l'expérience, il est évident alors que le mercure qui est rentré dans chaque cylindre représente la dilatation du gaz qui occupe alors le reste de la capacité du cylindre. Dès lors le rapport cherché s'obtiendra par le calcul le plus simple. Cependant la pression a varié et on peut en réglant convenablement le niveau du mercure dans les cylindres et dans la boîte, rendre cette variation très-faible, quelques millimètres par exemple, et alors il est facile de voir, en cherchant à faire la correction, que cette variation ne change pas le résultat parce qu'elle fait éprouver aux deux gaz des changements de volume proportionnels à leurs propres volumes ce qui ne change pas le *rapport* des coefficients de dilatation. J'ai dit des changements de volumes proportionnels, parce que la loi de Mariotte peut être appliquée sans erreur appréciable quand il s'agit d'une variation de pression de quelques millimètres.

Il reste à considérer les corrections à faire pour la dilatation des cylindres et le poids spécifique du mercure, mais les cylindres étant faits avec deux morceaux d'un même tube, ont le même coefficient de dilatation, et il est facile de s'assurer que les corrections s'annulent comme précédemment. En un mot, la symétrie parfaite de l'appareil annule toutes les corrections et le calcul se trouve réduit à une simple proportion.

Soient en effet V et V′ les volumes des gaz à la température basse, D et D′ les dilatations correspondantes ; V et D se rapportant à l'acide sulfureux, par exemple, V′ et D′ à l'air ; la proportion suivante :

$$\frac{D}{V} = \frac{D''}{V'}$$

fera connaître la valeur D″ de la dilatation d'un volume d'acide sulfureux égal à celui de l'air, dès lors le rapport des coefficients de dilatation sera $\frac{D''}{D'}$.

J'ai négligé dans cet exposé rapide une foule de précautions dont le détail serait trop long, j'indiquerai cependant que les robinets R, R′ étaient munis de petits cylindres en cuivre amalgamé, destinés à éviter l'absorption de la gaîne gazeuse adhérente, au moment où le mercure monte dans les cylindres.

Résultats. — J'ai examiné seulement l'acide carbonique et l'acide sulfureux, surtout l'acide sulfureux. J'ai d'abord déterminé, en prenant pour unité le coefficient de dilatation de l'air, celui des gaz précédents de 10 à 60°, de 10° à 100°, de 10° à 150°, de 10° à 200°, et enfin de 10° à 250° ; j'en ai conclu les dilatations intermédiaires en interpolant au moyen de deux courbes de la façon suivante (voyez pl. VII) : Les deux courbes (1) et (2) sont relatives à l'acide sulfureux. Voici comment j'ai construit la courbe (n° 1) : les températures sont portées sur l'axe des abscisses, et les ordonnées correspondantes représentent les différences des volumes qu'occupent à chaque température des quantités d'acide sulfureux et d'air qui, à zéro, occuperaient le même volume, ce sont les différences de dilatation comptées depuis zéro.

Cette courbe étant construite, si l'on veut avoir le

coefficient moyen de dilatation de l'acide sulfureux entre deux températures quelconques, il suffira de diviser la différence des ordonnées correspondantes par le nombre de degrés qui les sépare, et on aura ce dont le coefficient de l'acide sulfureux surpasse celui de l'air pendant cet intervalle.

J'ai calculé par cette méthode le tableau ci-dessous qui donne de 10° en 10° jusqu'à 50° et ensuite de 25° en 25° le coefficient de l'acide sulfureux, celui de l'air constamment représenté par 0,00367.

Air : 0,00367.

Acide sulfureux.

de 0° à 10°	0,004220	de 100° à 125°	0,003786
» 10° » 20°	0,004005	» 125° » 150°	0,003771
» 20° » 30°	0,003930	» 150° » 175°	0,003760
» 30° » 40°	0,003890	» 175° » 200°	0,003754
» 40° » 50°	0,003863	» 200° » 225°	0,003750
» 50° » 75°	0,003830	» 225° » 250°	0,003748
» 75° » 100°	0,003806		

Je n'ai pas déterminé directement la dilatation de 0° à 10°, j'ai obtenu le nombre 0,004220 en retranchant la dilatation de 10° à 100° de celle de 0° à 100° donnée par M. Regnault ; il en résulte que ce nombre présente moins d'exactitude que les suivants ; supposons en effet le nombre donné par M. Regnault parfaitement exact, soit E l'erreur expérimentale qui affecte le nombre représentant la dilatation de 10° à 100°, il est facile de voir en faisant le calcul qu'il en résultera pour la dilatation de 0° à 10° une erreur égale à 9 E.

Les résultats précédents sont représentés par la courbe (n° 2) ; les températures sont encore comptées sur l'axe des abscisses, et les ordonnées correspondantes représentent les différences du coefficient de l'acide sulfu-

reux et de l'air. Si on suppose les deux courbes représentées par des équations, les ordonnées de la seconde seront proportionnelles aux dérivées des points correspondants de la première.

Pour l'acide carbonique, les différences étant beaucoup plus petites que pour l'acide sulfureux, il faut des changements de température considérables pour obtenir des différences sensibles dans le coefficient : ainsi, tandis que de 0° à 100° le coefficient de l'acide carbonique est 0,00371 (Regnault), entre 0° et 200° j'ai trouvé le nombre 0,003704. J'ai opéré aussi de 0° à 250°, mais j'ai trouvé un résultat qui diffère tellement peu du précédent que la différence devient illusoire parce qu'elle est du même ordre que les erreurs que l'on peut commettre.

Chacun des nombres que j'ai déterminés est la moyenne de dix à douze expériences aussi concordantes qu'on peut le désirer pour des expériences aussi délicates. Du reste il est un moyen facile de vérifier l'exactitude sur laquelle on peut compter : il suffit d'introduire le même gaz dans les deux cylindres ; on devra trouver pour chacun le même coefficient.

J'ai fait cette vérification avec l'air, voici les résultats de quatre expériences ; en représentant par 0,00367 le coefficient de l'air de l'un des cylindres j'ai trouvé pour l'autre :

0,003667
0,003671
0,003673
0,003673
} moyenne, 0,003671

On voit que, quoique les résultats les plus différents s'écartent d'une façon sensible, la moyenne est très-rap-

prochée de la vérité. Je dois dire, du reste, que j'ai trouvé plusieurs fois des écarts un peu plus considérables que ceux des nombres qui précèdent, c'est pour cela que j'ai exécuté un si grand nombre d'expériences pour chaque nombre que j'ai voulu déterminer.

Si nous considérons maintenant les résultats représentés par la courbe (n° 2), nous voyons que le coefficient de l'acide sulfureux décroît rapidement jusque vers 50°, moins rapidement ensuite, et que vers 250° la courbe semble devenir asymptotique non pas à l'axe des abscisses, mais à une ligne parallèle à celui-ci. On ne peut évidemment pas affirmer ce que deviendrait la courbe si on poussait les expériences jusqu'à des températures beaucoup plus élevées ; cependant la forme de la partie construite semble indiquer que le coefficient de l'acide sulfureux tend vers une limite différente de celle du coefficient de l'air, et qui paraît voisine de 0,00374.

Les résultats relatifs à l'acide carbonique, quoique moins nombreux, conduisent à la même conclusion, puisque, comme je l'ai déjà dit, à partir de 200° la variation du coefficient est tellement petite que je n'ai pu l'apprécier avec certitude, et cependant à cette température le coefficient est encore égal à peu près à 0,003695, nombre bien supérieur encore à celui du coefficient de l'air.

Il est donc permis, d'après les résultats précédents, de faire une nouvelle hypothèse : c'est que le coefficient de chaque gaz tend vers une limite qui lui est propre et qui dépend sans doute de la complication de la molécule gazeuse. Mais on peut faire à cette hypothèse plusieurs objections. D'abord il faudrait renoncer à cette loi très-simple que les coefficients des gaz tendent tous vers une même limite ; on pourrait même ajouter à l'appui, que

les gaz qui sont très-éloignés de leur point de liquéfaction ont à peu près le même coefficient, qu'ils semblent par conséquent avoir presque atteint cette limite commune. Cependant si, comme on l'admet généralement aujourd'hui, les écarts de la loi de Mariotte et, par conséquent, les variations des coefficients sont dus à l'inégale distribution de la force vive totale des molécules en forces vives de rotation et de vibration intérieure, et de translation, il est évident que les variations en question dépendront de la composition de la molécule; or précisément les gaz dont le coefficient paraît avoir la même limite sont des corps simples ou relativement simples (hydrogène, azote, oxygène, air (mélange de gaz simples), tandis que les autres gaz dont les coefficients sont plus forts et en même temps plus différents sont des corps composés (acide carbonique, acide sulfureux, protoxyde d'azote, cyanogène).

Il semble donc que le coefficient de dilatation est d'autant plus grand même à la limite, que la molécule est plus compliquée.

Or à première vue c'est le contraire qui paraîtrait plus rationnel, car plus la molécule est compliquée, plus elle doit absorber de force vive intérieure et par conséquent plus la force vive de translation qui produit le volume doit être petite; c'est même ce qui semble résulter immédiatement de la formule suivante bien connue :

$$\frac{Vu}{V} = \frac{3}{2}\left(\frac{C}{c} - 1\right) \quad \text{ou} \quad \frac{Vu}{V} = \frac{3}{2}\alpha\frac{Ap_0v_0}{c}$$

dans laquelle Vu représente la force vive de translation, V la force vive totale, c la chaleur spécifique à volume constant et C celle à pression constante, A, p_0, v_0 des

constantes. Mais il est évident qu'on suppose ici entre le volume occupé à une température donnée et le coefficient correspondant un rapport qui n'existe pas nécessairement ; du reste, si nous considérons bien le sens de la formule précédente, nous verrons que dans cette formule α a un sens plus précis que celui que nous avons attribué jusqu'ici au coefficient de dilatation, c'est l'inverse de la fonction de Carnot quantité absolument fixe. Mais alors une nouvelle objection se présente : si chaque gaz possède à la limite un coefficient spécial, quel est celui dont l'inverse donnera la fonction du Carnot ? Mais il est facile de voir que la détermination de cette fonction suppose un gaz idéal, qui en réalité n'existe pas, et rien n'implique théoriquement que tous les gaz et même qu'aucun des gaz connus ne soit susceptible *même à la limite* de devenir ce gaz parfait.

Au surplus, l'hypothèse que j'ai faite ne m'a été suggérée que par la forme de la courbe relative à l'acide sulfureux et les résultats concernant l'acide carbonique ; il est évident qu'il faudrait pour trancher la question pousser les expériences jusqu'à des températures excessivement élevées, et employer probablement des moyens expérimentaux qui dépassent les ressources de la plupart des expérimentateurs.

OBSERVATIONS

SUR LES

RECHERCHES DE M. PAYER

SUR

LES GLACIERS DU GROENLAND

PAR

M. CHARLES GRAD.

Lors de la dernière expédition scientifique envoyée par l'Allemagne dans les régions polaires, un jeune et brillant officier de l'armée autrichienne, le lieutenant Julius Payer, connu par d'importants travaux sur les montagnes du Tyrol, a été particulièrement chargé de l'étude des glaciers. Ses instructions lui prescrivaient de faire, à l'occasion de l'hivernage sur les côtes du Groënland, des courses aussi étendues que possible dans l'intérieur, afin d'étudier la marche, l'état et la constitution des glaciers. On avait alors encore peu de notions précises sur la constitution physique de cette région. Personne ne s'était avancé à l'intérieur du côté de l'orient, tandis que depuis les voyages du Dr Hayes, à partir des rivages de l'ouest et des glaciers qui aboutissent au port Foulke, M. Whymper avait à peine réussi en 1867 à franchir la lisière des glaces près des colonies danoises du Sud, arrêté qu'il était presque aussitôt par des obstacles insurmontables. L'importance des travaux entrepris dans les derniers temps sur l'époque glaciaire, la lumière qu'ils jettent sur une phase importante de l'histoire de la terre donnent un vif

intérêt aux laborieuses recherches de M. Payer sur les glaciers polaires.

Avant de considérer les glaciers, faisons une observation sur la limite inférieure des neiges persistantes. On pense encore généralement aujourd'hui que cette limite s'abaisse jusqu'au niveau de la mer vers la latitude du cap Nord, soit à l'extrémité septentrionale de la Norwége. Cette opinion n'est pas fondée. Il est difficile sinon impossible de fixer la limite inférieure des neiges, et celle-ci ne persiste pendant l'année entière que sur les points où elle se transforme en *névé* après une fusion partielle. Quiconque passe dans les Alpes vers la fin de l'automne trouve les flancs des pics élevés presque entièrement dépourvus de neige, tandis que de grandes nappes blanches s'étalent dans les dépressions du sol et dans les vallées entre les rocs à nu à la face supérieure des glaciers. Entre les glaciers et le névé ou la neige grenue, il y a une séparation complète et discordante. Les névés eux-mêmes sont divisés en couches annuelles que les glaciers entraînent dans leur marche vers les régions inférieures. Il faut considérer comme limite des neiges persistantes le bord inférieur de la dernière couche de névé en amont tel que la fonte l'a circonscrit pendant la saison chaude. Les contours de cette couche sont faciles à suivre. Tout ce qui se trouve au-dessus appartient à la région des neiges appelées éternelles, mais dont la limite dans une même chaîne de montagnes varie beaucoup selon l'exposition et suivant les années[1]. Ainsi cette limite oscille dans les Alpes entre 2600 et 3000 mètres; mais pendant certaines

[1] Voyez notre étude sur la limite des neiges persistantes et la distribution des glaciers à la surface du globe dans les *Annales des Voyages* de septembre 1867, page 275.

années chaudes, comme en 1865, nous avons vu les névés eux-mêmes disparaître jusqu'à une hauteur de 3300 mètres au-dessus du niveau de la mer sur les glaciers du Mont-Rose et au col de Théodule.

Au Groënland, M. Payer fixe la limite des névés, soit la ligne inférieure des neiges plus ou moins persistantes, entre 1000 et 1200 mètres au-dessus du niveau de la mer, et dans le nord des îles Spitzbergen, M. Otto Torell trouva sur les versants des montagnes, à plus de 600 mètres, une végétation de phanérogames pareille à celle des plaines[1], tandis que les frères Schlagintweit donnent l'altitude de 5800 mètres comme limite des neiges sur le versant méridional de la chaîne de Karakoroum dans la haute Asie[2]. Cette limite ne correspond pas d'ailleurs avec l'isotherme de 0°, la ligne ou la région dont la température moyenne atteint 0 degré centigrade. Dans les Alpes l'isotherme de 0° atteint la limite inférieure des neiges vers le pied des montagnes en janvier. A partir de ce mois jusqu'en juillet, l'isotherme de 0° s'élève au-dessus du bord des neiges pour s'abaisser au-dessous à partir du mois d'août, de telle sorte que la température moyenne de l'atmosphère fixée à 0° se trouve plus haut que la ligne des neiges pendant la première période et plus bas pendant la seconde. Ajoutons que si l'élévation de la limite inférieure des neiges persistantes varie peu dans une même zone, et que si les deux versants d'une même chaîne de montagne présentent seulement de faibles différences en rapport avec l'exposition, il n'en est

[1] Torell et Nordenskjöld, *Die schwedischen Expeditionen nach Spitzbergen*. Iéna, 1869, page 275.

[2] Herrmann de Schlagintweit, *Reisen in Indien und Hoch-Asien*; troisième volume. Iéna, 1871.

pas de même de l'extrémité inférieure des glaciers. Les glaciers descendent d'autant plus bas que leurs vallées sont mieux abritées, et qu'ils reçoivent des masses de neige plus considérables dans les régions supérieures. Le glacier inférieur de Grindelwald, qui est celui qui descend le plus bas dans les Alpes, s'arrête à 980 mètres au-dessus de la mer, soit à 2000 mètres environ plus bas que la limite des neiges et en un point dont la température moyenne atteint 8° centigrades. Dans les monts Himalaya, le glacier de Couphinié descend à 3450 mètres, soit à 1100 mètres au-dessous de la limite des neiges qui s'arrête là à 4550 mètres. Enfin à la Nouvelle-Zélande, par 43° et 44° de latitude australe, les glaciers du versant est s'arrêtent à une altitude de plus de 700 mètres, tandis que sur la pente opposée on les voit descendre jusqu'à 200 mètres seulement au-dessus de la mer, au sein d'une riche végétation de fougères arborescentes.

A la Nouvelle-Zemble, dont la température moyenne ne s'élève pas en été au-dessus de 2°,5 centigrades selon M. Spörer, et qui est réputé comme le pays le plus froid du globe, la neige disparaît chaque année sauf dans quelques gorges, dans des dépressions peu étendues [1]. Nulle part le niveau des neiges persistantes ne descend jusqu'au niveau de la mer. Quant au Groënland, une carte détaillée ferait ressortir le peu d'étendue relative de la surface toujours recouverte de neige là même où s'étendent les plus grands glaciers du monde. M. Payer admet que dans cette région « toute vallée issue d'un massif de 1000 à 1200 mètres d'élévation renferme un glacier. Les dimensions

[1] Spörer, *Novaja-Zembla*. Gotha, 1868.

de ces glaciers varient beaucoup. Il y en a de toutes les grandeurs, depuis la coulée étroite issue des hauts névés et que les avalanches précipitent en lambeaux au bas des gorges, jusqu'au fleuve de glace majestueux, au cours immense, descendant dans la mer avec une tranche verticale de 1000 pieds d'élévation. On peut évaluer à plus de 70 kilomètres l'étendue de plusieurs de ces grands glaciers d'où proviennent les énormes masses flottantes accumulées à l'intérieur des bras de mer et le long des côtes.

Pendant que M. Payer faisait ses observations sur la côte orientale du Groënland, le chef des expéditions suédoises aux îles Spitzbergen, M. Nordenskjöld, s'avançait en juillet 1870 à l'intérieur des champs de glace jusqu'à 70 kilomètres de leur lisière extérieure. A cette distance du bord des glaciers, à 600 mètres environ au-dessus de la mer, des glaces sans limite se montraient seules au regard. Déjà en 1860, le Dr Hayes s'était avancé à l'intérieur de la mer de glace à 128 kilomètres de son extrémité aboutissant au port Foulke, sans apercevoir non plus la limite de cet immense amas. La surface de ces glaces est inégale, accidentée, parsemée de hauteurs et de dépressions où se forment de petits lacs, coupée de courants d'eau considérables alimentés par la fonte sous une température de 20 degrés centigrades et au-dessus ! Tous ces courants s'engouffrent dans les crevasses et diminuent beaucoup pendant la nuit, durant laquelle l'eau gèle aussi à la surface des lacs.

Ainsi les glaciers des régions polaires comme ceux des Alpes sont exposés en été à une haute température dont l'effet est d'autant plus sensible au Groënland que le soleil y reste alors plus longtemps au-dessus de l'horizon.

Le Dr Hayes, qui s'avança encore plus à l'intérieur que M. Nordenskjöld, éprouva en octobre 1860 un froid de — 35°, à 1500 mètres il est vrai au-dessus du niveau de la mer et à 128 kilomètres au moins du littoral. Il y avait alors à la surface des glaciers une épaisse couche de neige au lieu de courants d'eau. Malgré l'élévation progressive de la glace vers l'intérieur, ni M. Nordenskjöld, ni le Dr Hayes n'aperçurent point de montagne visible, partant point de moraines. Suivant toute apparence, le Groënland occidental est enseveli sous une immense accumulation de glace continue qui débouche du côté de la mer par autant de glaciers distincts qu'il y a de vallées principales. Une ligne de hauteurs dont le versant abrupt est tourné vers l'Orient, parcourt le pays du sud au nord à partir du cap Farewell, et le partage en deux versants, dont celui de l'ouest est beaucoup plus étendu que celui de l'est.

Ce qui confirme cette conjecture, c'est le développement beaucoup plus considérable des glaciers de l'ouest mis en évidence par les dimensions énormes et la quantité des glaces flottantes accumulées à l'intérieur des golfes et le long des côtes occidentales. Tandis que les glaciers de l'est, décrits par M. Payer, sont distincts et ne communiquent pas entre eux, ceux de l'ouest sont alimentés par une même mer de glace intérieure. Ces glaciers ne débouchent pas indifféremment sur tous les points du littoral. Quand ils atteignent les côtes, ils se déchargent le long des lignes de plus grande pente aboutissant au fond des golfes et des bras de mer. Ils plongent sous les eaux et continuent à s'avancer au milieu des flots jusqu'à ce que la force d'émersion les fasse éclater et détache de

l'extrémité des cubes solides qui mesurent un kilomètre de côté et plus, et que la mer emporte ensuite. La hauteur de ces masses flottantes dépasse souvent 300 mètres avec une élévation de plus de 30 mètres au-dessus du niveau des flots. Sur les côtes occidentales des îles Spitzbergen baignées encore par les tièdes extrémités du Gulfstream, les dimensions des glaces sont moins considérables parce que les glaciers se fondent au contact de l'eau à mesure qu'ils s'avancent, laissant seulement la tranche située au-dessus de la surface[1]. On peut observer un fait semblable au lac Märjelen au bord du glacier d'Aletsch, dans les Alpes, où les flancs du glacier en contact avec les eaux du lac se fondent jusqu'à son niveau, tandis que la tranche supérieure se détache pour former sur le lac des glaces flottantes. Quant à la quantité de glaces flottantes jetée à la mer par les glaciers du Groënland, M. Holböll, dans un mémoire de la *Revue danoise* de septembre 1858, estime à 800 ou 900 millions de mètres cubes celle qui est expulsée chaque année par le golfe de Godhaal, sous 65° de latitude, dont le bassin est un des moins étendus. M. Holböll fonde son évaluation sur la quantité de glace contenue dans le bras de mer à un moment donné et sur le temps qu'elle emploie pour en sortir. Le glacier de Godthaal touche le rivage sur une faible étendue seulement le grand glacier de Humboldt sur les côtes du détroit de Smith la borde sur une longueur de 110 kilomètres.

Tous les glaciers du Groënland n'atteignent pas la mer. Dans ce cas leur extrémité ne donne issue non pas à des

[1] Charles Grad, *Esquisse physique des îles Spitzbergen et de la zone arctique*, page 50. Paris 1866.

torrents comme ceux des Alpes, mais, comme l'a vu M. Payer, à de véritables fleuves, jaillissant par des voûtes immenses. Quand les glaciers dépassent les côtes et s'avancent dans la mer, le courant d'eau formé sous la glace n'en est pas moins sensible. Il se manifeste par une sorte de bouillonnement pareil à celui de fortes sources en avant des glaces. Ce bouillonnement indique la marche du courant intérieur. L'eau bouillonne comme si elle était animée par une sorte de tourbillon, elle est colorée par la boue provenant du frottement du glacier sur les roches du fond, et des nuées d'oiseaux marins y plongent sans cesse afin d'en tirer leur nourriture. Lors de son séjour au Groënland, M. Rink a observé ce fait dans le Quanef-jord, près de Frédérikshaal. Les glaces intérieures pénètrent dans ce bras de mer par ses deux extrémités. M. Rink vit distinctement dans la bouche méridionale, du haut d'une colline située à un millier de mètres de distance, ce bouillonnement caractéristique semblable à celui de fortes sources jaillissant du fond sur une surface de plusieurs hectares, tandis que des foules de mouettes (*Larus tridactylus*) voltigeaient au-dessus comme auprès d'un banc de poissons. De plus le bras de mer était coloré par une eau limoneuse, quoiqu'aucun fleuve ne fût visible du côté de la terre. Le mouvement de la glace se manifestait aussi par de légers crépitements, tandis que des fragments de petites dimensions se détachaient de la masse et tombaient dans l'eau. Les indigènes qui accompagnaient l'expédition prétendaient que les sources — le nom sous lequel ils désignent cette sorte de courant — étaient visibles de ce point seulement, mais qu'ici elles n'étaient rien en comparaison de celles de la branche

septentrionale, dont le fond n'était pas accessible alors [1].

Un Groënlandais des environs du fjord de Godthaal, bien instruit de la configuration de son pays, remit à M. Rink une description de la lisière des glaces entre 64° et 65° de latitude accompagnée d'une carte détaillée. Cette carte représente les petits courants d'eau qui débouchent à l'intérieur du Golfe ou du fjord de Godthaal, ainsi que l'extrémité des glaciers qui atteignent le rivage. Sur deux points où les glaciers descendent dans l'eau, elle indique de fortes *sources* à la surface du bras de mer, sources dont la position était indiquée à une certaine distance par les nuées d'oiseaux qui tourbillonnent au-dessus. Un petit lac situé à l'intérieur des terres, mais au bord du glacier présente aussi le même bouillonnement que la mer. Le niveau de ce lac s'élève et s'abaisse périodiquement. Pendant que ses eaux s'élèvent, les sources situées dans le bras de mer diminuent, et elles augmentent quand le niveau du lac baisse. Quelquefois la baisse du lac est subite; les sources situées dans la mer, en avant du glacier, augmentent alors de force à tel point qu'on remarque un courant très-sensible dans les eaux du bras de mer à plusieurs milles de distance de la lisière des glaces. Sans aucun doute les oscillations de niveau du lac, comme celles des sources de l'intérieur du golfe proviennent du courant d'eau intérieur qui circule sous le glacier, courant dont le volume et la force varient aussi suivant l'intensité de la fusion à la surface et à l'intérieur des glaciers, soit encore selon le changement des crevasses ou des canaux qui se forment dans ses flancs.

[1] H. Rink, *Om Vandets Aflod fra det Indre of Gronland ved Kilder under Isen*. Copenhague, 1862. — *Annales des Voyages* de décembre 1865, page 268 et suivantes.

De même les renseignements fournis par les Groënlandais des districts de Julianshaal, de Frédérickshaal, sur les côtes septentrionales, indiquent la présence de sources semblables et partant de fleuves sous-marins formés d'eau douce d'origine glaciaire partout où les glaciers descendent jusqu'à la mer, et d'autant plus considérables aussi que les glaciers sont plus puissants. On a seulement observé le bouillonnement des sources depuis le rivage, car l'accès du glacier est difficile du côté de la mer. Les innombrables essaims d'oiseaux toujours réunis au-dessus des sources en annoncent le voisinage. D'un autre côté l'eau douce des courants sous-marins d'origine terrestre ne gèle pas en hiver : les phoques y établissent leur séjour de prédilection à l'intérieur des bras de mer et des golfes où ils débouchent, quand les baies et les autres parties du littoral sont prises de glace.

Les courants d'eau alimentés par la fusion des glaciers du Groënland persistent donc en hiver, et la température du fond sur lequel les glaciers reposent reste à peu près invariable en toute saison et présente une moyenne supérieure à celle de l'air. Dans les Alpes, M. Dollfus-Ausset a constaté que les glaciers de l'Aar et du Grindelwald ne fournissent point d'eau en hiver. L'ablation ou la fusion s'arrête au contact du sol sous les petits glaciers alpins, tandis qu'au Groënland elle continue. M. Rink affirme avoir observé, dans les districts du nord, à l'intérieur du fjord de Pakitkok, près Jakobshavn, un de ces courants d'origine terrestre, encore nettement distinct à la fin de l'automne, à une époque où la plupart sinon tous les torrents qui coulent à la surface du sol sont taris. L'eau était troublée par des particules de boue comme les torrents d'origine glaciaire le sont toujours, bien différente

par conséquent des courants d'eau claire alimentés par des lacs ou des sources qui peuvent persister sur terre en hiver. Si j'ai bonne mémoire, le Dr Kane a découvert sur les côtes du détroit de Smith, par 79° de latitude, un courant d'eau semblable provenant d'un glacier et persistant en hiver. Sous l'immense couverture de glace qui revêt le sol sur une épaisseur de plusieurs milliers de pieds, les variations de température ne se font plus sentir. Elle ne s'abaisse pas probablement au-dessous de 0° au contact de la glace, et augmente assez vite dans le sens de la profondeur, de manière à favoriser la fusion de la face inférieure des glaciers même pendant la saison froide. Notons enfin que les observations faites pendant trois ans par M. Rink dans la colonie de Godthaal portent à —1°,73 C. la température moyenne de l'air, tandis que celle du sol atteint + 1°,25 à quatre pieds de profondeur après y avoir marqué 5° pendant le mois d'août, pour s'abaisser au-dessous de 0 en mars et en avril. En hiver la neige qui abrite le sol contre un froid trop intense, et en été la présence prolongée du soleil au-dessus de l'horizon ainsi que l'influence de quelques pluies tièdes, expliquent cette différence.

A notre grand regret, les observations exactes sur l'importance de l'ablation ou de la fusion à la surface des glaciers du Groënland font complétement défaut. Une expérience de M. Rink fixe entre 750 et 900 millimètres la hauteur moyenne des précipitations atmosphériques, pluie et neige, dans le district de Godthaal. Selon toute probabilité l'abondance des précipitations diminue à la surface des glaciers vers l'intérieur, mais il est impossible d'estimer leur rapport avec la hauteur de l'ablation. Tout ce que nous savons, c'est qu'en été la

fusion des glaces et des neiges y est très-considérable. On se rappelle la description des grands courants d'eau rencontrés sur toute l'étendue de la mer de glace intérieure par M. Nordenskjöld. Le lieutenant Payer rapporte aussi que sur les glaciers de l'est la neige était en complète fusion dès le commencement de l'été à des hauteurs de 2000 mètres et plus, au point que l'ascension de certains versants était devenue impossible parce qu'on enfonçait dans la neige à chaque pas comme dans une masse liquide dont les bâtons de voyage ne pouvaient atteindre le fond. La fusion continue en été tant que le soleil demeure au-dessus de l'horizon pendant les jours sereins : je l'ai trouvée de 70 à 80 millimètres par jour sur certains points du glacier d'Aletsch en août 1869, tandis que M. Dollfus-Ausset a vu l'ablation d'une tranche de glace de 1460 millimètres enlevée par la chaleur en trente-quatre jours sur le glacier de Saint-Théodule, près du mont Cervin, à 3000 mètres au-dessus du niveau de la mer.

En général, les glaciers du Groënland présentent une teinte d'un blanc verdâtre. On y remarque des apparences de stratification comme dans les Alpes et aux îles Spitzbergen. Toutefois, les grands glaciers groënlandais, selon la remarque de M. Payer, ont une surface relativement unie, au lieu de tomber en cascades, de former une série de marches, de se décomposer en un cahos d'aiguilles comme nos glaciers des Alpes quand ils descendent suivant une pente rapide. Par suite de variations de température moins fréquentes, moins intenses, les glaces des terres polaires acquièrent aussi une densité moindre que dans nos montagnes après un parcours égal. En conséquence, la glace des glaciers arctiques devient moins

transparente, moins pesante que chez nous. Néanmoins, si cette glace a peu de crevasses, si elle se transforme plus lentement que dans les Alpes, si elle reste longtemps à l'état où nous la voyons dans les régions supérieures des glaciers alpins, nous ne saurions attribuer avec M. Payer la rareté et le peu de largeur des crevasses, ni l'absence des aiguilles à une élasticité plus grande, mais bien à une plus grande épaisseur des glaciers et à une moindre inclinaison du fond. De plus, ces propriétés des grands glaciers du Groënland se prononcent encore contre la théorie mise en vogue par M. Tyndall, de la transformation et du mouvement de la glace sous l'influence unique de la pression des parties supérieures sur les parties inférieures.

Par contre, comme dans les Alpes, la limite inférieure des névés partage les glaciers du Groënland en deux parties, l'une dépourvue parfois, l'autre recouverte de neige en toute saison. Il en est de même pour les glaciers des Spitzbergen, que M. Charles Martins, en se fondant sur des observations insuffisantes, assimile à tort à la partie des glaciers alpins située au-dessus de la limite des neiges persistantes. Sur les glaciers de la côte orientale du Groënland, à 1500 mètres d'altitude, M. Payer trouva une épaisseur de névé d'un pied. Les neiges s'accumulent là en plus grande abondance sur le versant nord des montagnes que sur le versant opposé mieux abrité contre les vents dominants, en sorte que, dans ces régions, l'ascension des montagnes est plus facile du côté du midi, quand les neiges sont ramollies pendant la saison chaude.

L'expédition allemande a négligé les observations sur le mouvement des glaciers. M. Payer s'est borné à déter-

miner la vitesse du déplacement d'un glacier de l'intérieur, au moyen d'une expérience de trente heures seulement et qui indiqua un déplacement de 125 millimètres par vingt-quatre heures. Une autre observation faite au moyen d'une ligne de piquets plantés à l'aide du théodolite sur un embryon de glacier dans la proximité du port d'hivernage de l'expédition, ne donna pas de résultat appréciable. En 1860, le compagnon du Dr Hayes, dans les régions polaires, Auguste Sonntag, constata, du mois d'octobre au mois de juin suivant, un avancement total de 29 mètres, soit en moyenne 120 millimètres par jour, pour le glacier qui aboutit au port Foulke dans le détroit de Smith, par 78° de latitude nord. Cette observation paraît se rapporter à l'extrémité du glacier. Quant à l'observation de M. Payer, nous ne savons à quel point la rattacher. Or la vitesse du mouvement varie beaucoup suivant le point observé et dépend de l'épaisseur, de la pente du fond, etc. Dans une communication faite à la séance du mois de novembre 1869, de l'Académie des sciences, j'ai indiqué les résultats des observations faites avec mon ami, M. Anatole Dupré, sur le glacier d'Aletsch, pendant les mois d'août et de septembre. Le mouvement avait sur ce glacier une vitesse maximum de 505 millimètres par vingt-quatre heures, à une distance de 15000 mètres de l'extrémité inférieure, de 392 millimètres à une distance de 8000 mètres, de 264 millimètres à une distance de 2000 mètres. Je ne puis entrer ici dans de plus grands développements sur ces observations que j'ai décrites ailleurs en détail [1]. J'a-

[1] Une campagne sur le glacier d'Aletsch, dans les *Annales des Voyages* de juillet et août 1870.

jouterai seulement que le mouvement de translation des glaciers du haut des vallées vers les régions inférieures est continu, mais inégal. Variable d'une saison à l'autre, il diffère aussi pour les points d'un même glacier, augmentant depuis les bords vers le milieu et du fond à la surface, où le lieu des points de la vitesse maximum correspond à la plus grande épaisseur, déviant à droite, à gauche du milieu apparent du bassin, suivant la ligne de plus grande pente du fond. On ne saurait déterminer avec précision la pente du fond, mais il est facile de reconnaître celle de la surface, et tandis qu'elle atteint une inclinaison moyenne de 6 à 8 degrés pour les grands glaciers des Alpes, elle est à peu près nulle pour les glaciers issus de l'immense mer de glace qui recouvre le Groënland occidental, dépassant à peine un degré pour l'espace parcouru par le Dr Hayes à partir du port Foulke, et descendant beaucoup au-dessous pour des glaciers dont le parcours atteint 400 kilomètres. L'expédition suédoise que M. Nordenskjöld va diriger de nouveau dans les contrées polaires, rendrait à la science un service signalé, en fixant avec précision le mouvement des glaciers dans ces régions.

A plusieurs reprises, j'ai appelé l'attention sur la décroissance des glaciers des Alpes pendant les dernières années [1]. Pendant ses explorations des montagnes du Tyrol, M. Payer a vu les glaciers du groupe de l'Oertler se réduire de 1865 à 1868, au point de devenir à peu près méconnaissables. Il constata une diminution semblable des glaces dans le Groënland oriental. « Déjà pendant l'automne de 1869, dit son rapport, je fixai mon

[1] Bulletin de la Société de Géographie de janvier 1869.

attention sur quelques moraines, et sur des polis glaciaires sans glaciers dans le voisinage. La deuxième de mes grandes courses en traîneaux, sur une étendue de 350 kilomètres, entreprise vers l'intérieur à la fin d'octobre et au commencement de novembre, soit pendant des journées fort courtes, me permit de faire, sur ce sujet, des observations qui ne laissent aucun doute. Une barrière d'un blanc mat, qui semblait séparer de nous le fjord Tyrolien, encore inconnu alors et situé à un mille au nord, se déploya comme le puissant talus de l'extrémité d'un glacier. Si naturelle que fût cette découverte, elle nous surprit cependant tous, car, comme nous pouvions déjà en juger de loin, nous avions devant nous un glacier de premier rang. Le traîneau fut donc laissé en arrière. Nous gagnâmes, après une marche pénible d'une heure et demie sur la surface glissante et gelée du bras de mer, une sorte de piton rocheux de 100 mètres d'élévation complétement isolé des parois voisines. Sur la rive opposée du fjord nous aperçûmes un promontoire semblable. Ces promontoires, derrière lesquels se dressait un courant de glace adossé contre une moraine terminale recourbée en cercle aux proportions gigantesques, offraient une preuve du mouvement des glaciers, comme je n'en ai jamais vu ni auparavant ni depuis. La surface du piton était parfaitement polie et plissée en une série d'ondulations parallèles atteignant une toise de profondeur. Ces ondulations traversaient le roc avec une inclinaison de 8° dans la direction du sud. Une déviation se présentait-elle dans la direction de ces ondulations, du côté du débouché du glacier, elle se trouvait toujours en rapport avec des proéminences du rocher. Outre les grandes ondulations, il y avait des cannelures plus petites, d'un

pouce de profondeur seulement, mais qui leur étaient aussi parallèles. Les premières sont une conséquence des oscillations du glacier et de l'inégalité de sa décroissance, les autres proviennent du frottement des blocs serrés contre les parois par le glacier en mouvement. »

Partout où le permettait l'inclinaison de la surface polie du piton, il était recouvert de blocs d'un mètre cube, souvent entassés les uns sur les autres, souvent placés dans les positions les plus critiques. Au pied des escarpements du fjord s'étendaient des moraines latérales disposées en forme de terrasses jusqu'à la hauteur de 20 mètres. Évidemment le grand glacier avait abandonné ce point depuis longtemps.

Après avoir franchi la plaine semée de décombres et de petits lacs à surface gelée, les voyageurs atteignirent la moraine frontale élevée de 45 mètres, par-dessus laquelle les torrents issus du glacier se précipitaient en gigantesques cataractes maintenant converties en glace. Quelle masse d'eau le fjord doit recevoir à l'époque où le soleil reste constamment au-dessus de l'horizon ! En arrière, le rempart de décombres s'abaissait d'une douzaine de mètres vers l'extrémité du glacier. Le courant de glace lui-même, d'un bleu d'azur et d'une pureté parfaite, s'élevait en groupes épars, redressés, fondus les uns dans les autres, mais sans présenter les vives arêtes des aiguilles de nos Alpes, circonstances qu'explique l'intensité de la fonte pendant le long jour polaire.

M. Payer trouva la glace tout à fait lisse. Il gravit avec peine une de ces ondes, portant les instruments et soutenant de la main son compagnon blessé au pied. Alors seulement il put embrasser le glacier dans son ensemble.

« Je comptai, dit-il, cinq grands affluents qui descendaient en se crevassant entre les bords du fjord, du haut des collines en forme de plateaux. Sans doute ces brèches gigantesques faites dans les parois du fjord proviennent de l'action érosive de la glace continuée pendant des milliers d'années. De magnifiques polis s'étalaient jusqu'à une hauteur de 200 mètres dans le fond, à 150 mètres au-dessus du niveau d'une plaine, aux contours nettement dessinés sur les escarpements de granits syénitiques. Le lendemain je découvris, sur le pied méridional du cap Antonie, une vieille moraine latérale bien émurée à une élévation de 150 mètres. La crête de cette traînée de débris, déposée depuis des siècles, se détachait comme le faîte d'un toit sur les parois rocheuses. Dans le voisinage, on voyait les mêmes dépôts de transport composés d'éléments à vives arêtes. Les promontoires du littoral présentaient aussi des roches moutonnées et des surfaces polies. »

Un autre glacier situé à l'intérieur de la côte orientale, et dont la pente totale peut être évaluée à 10°, était accompagnée de cinq moraines latérales disposées en étages indiquant les niveaux successifs de la glace dans son mouvement de décroissance. Aux îles Spitzbergen, on trouve également des traces d'une plus grande extension des glaciers, consistant en moraines anciennes, situées à de grandes distances des glaciers ou dans des localités où les glaces ont à peu près complétement disparu, comme, par exemple, sur la rive droite de la baie Wijde qui s'ouvre au nord par 80° de latitude ; tandis qu'ailleurs, comme sur les bords du canal de Hinlopen, près du mont Lovèn, la présence de roches polies et moutonnées bien au-dessus du niveau actuel des glaciers, rend

témoignage de leur décroissance. Certains dépôts de transport des Spitzbergen observés notamment sur les bords du détroit de Hinlopen et de la baie d'Advent [1] renferment des coquilles de *Mylitus adalis*, espèce vivante qui habite encore les côtes de la Norwége, mais dont les savants suédois n'ont plus trouvé un seul individu dans les parages des Spitzbergen. Ce mollusque s'est probablement éteint dans ces mers lors de la grande extension des glaces qui ont sans doute recouvert le pays entier pendant un certain temps. Le grand développement des glaciers des Spitzbergen et du Groënland a dû correspondre à l'époque où les glaciers des Alpes se sont étendus bien en dehors de leurs limites actuelles, où les glaces ont envahi les vallées du Jura et des Vosges. Selon les récits des Esquimaux, faits en 1860 au Dr Hayes, les glaces auraient apparu dans la baie Melville en même temps que dans le détroit de Smith, et ces populations auraient quitté la terre de Grinell et les abords du glacier de Humboldt, après l'extinction du bœuf musqué dont les ossements sont épars sur ces côtes, et dont l'espèce a dû disparaître avec les pâturages qui le nourrissaient sous l'influence d'un refroidissement subit du climat à une date encore peu éloignée.

Je n'essaierai pas d'accorder les traditions des Esquimaux sur le développement relativement récent des grandes glaces du Groënland, avec les données positives acquises sur l'époque glaciaire en Europe et en Amérique. Il faut toutefois remarquer que l'extinction du bœuf musqué (*Ovibos moschatus*) n'a pas été complète au Groën-

[1] A.-E. Nordenskjöld, *Sketsch of the geology of Spitzbergen*, p. 53. Stockholm, 1867.

land, car l'expédition allemande a trouvé ce ruminant dans les vallées de la côte orientale, en 1870. Si l'espèce a disparu de certains cantons de l'archipel polaire, sa destruction peut être la conséquence d'une chasse trop active, comme aussi d'un redoublement du froid à un moment donné. Si, dans les Alpes, les glaciers de Grindelwald peuvent avancer et reculer de 500 à 1000 mètres, sous nos yeux pour ainsi dire, dans l'espace de deux siècles, les grands glaciers des régions polaires sont bien susceptibles de subir à leur extrémité des oscillations plus considérables encore.

Quant à la diminution des glaciers, M. Julius Payer l'attribue surtout au polissage de plus en plus parfait du fond sur lequel ils se meuvent. Je ne saurais nullement partager cette opinion, puisque la limite supérieure des polis anciens s'élève dans les Alpes à 3000 mètres, tandis que les glaciers actuels gelés au sol entre 2500 et 2600 mètres strient les roches sur une moindre étendue qu'autrefois. Rien de plus certain d'ailleurs, ni de plus clair que la décroissance générale des glaciers sur toute la surface du globe à une époque relativement peu éloignée de nous. Cependant, il serait difficile d'affirmer d'une manière positive, si la réduction des glaces suit une marche continue depuis le temps de leur plus grande extension, ou bien si la puissance des glaciers subit de simples oscillations qui les font avancer ou reculer entre certaines limites en rapport avec les variations d'humidité et de température de l'atmosphère. De petits glaciers se forment encore dans des vallées qui en sont dépourvues, pendant que d'autres sont détruits sous nos yeux. Mais ces événements se trouvent en dehors de toute proportion avec les phénomènes étonnants de la

grande époque glaciaire. Les conditions actuelles de l'atmosphère terrestre ne pouvant pas expliquer ces phénomènes, les causes de la formation et de la décroissance des anciens glaciers, doivent-être cherchées en dehors des limites étroites de notre globe, dans une action cosmique susceptible de modifier les lois qui régissent ses conditions physiques présentes.

BULLETIN SCIENTIFIQUE.

PHYSIQUE.

Elias Loomis. Comparaison entre les variations magnétiques, le nombre des aurores boréales et l'étendue des taches solaires.

Les nouvelles recherches de M. Loomis présentent un grand intérêt par le nombre des observations qu'il a recueillies, le soin avec lequel il les a discutées, et les résultats importants auxquels il est parvenu. Nous nous bornerons, pour le moment, à en donner un court résumé, nous réservant de revenir plus tard avec plus de détails sur tout le sujet.

Après avoir rappelé sommairement, en les discutant, les observations antérieures de Schwabe et de divers autres astronomes, plus particulièrement celles de Wolf, il arrive à croire que les maxima du nombre des taches solaires reviennent exactement tous les dix ans, ce qui donne pour la longueur moyenne de la période le chiffre de dix ans, au lieu de dix ans et quelques mois, ou onze ans.

Si l'on attribue les fluctuations dans l'apparence de la surface du soleil à l'influence des planètes, il faut remarquer que Jupiter, dont la révolution a une durée de 11,86 années, est celle des planètes qui, sous ce rapport, se rapproche le plus de la période de 10 à 11 ans, quoique sa révolution soit cependant de neuf mois plus considérable que la période assignée par M. Wolf aux maxima des taches solaires et de deux ans plus grande que celle que M. Loomis leur assigne. Mais, d'un autre côté, il ne faut pas perdre de vue que l'intervalle entre deux conjonctions héliocentriques de Jupiter et de Saturne est de 19,86 ans. Il en résulte que c'est au bout d'un intervalle de 9,93 années que Jupiter et Saturne sont soit en conjonction, soit en opposition ; et si nous supposons que l'action de ces planètes sur le soleil ait quelque analogie avec celle de la lune sur la terre dans la production des marées,

nous pouvons trouver là une cause dont la période correspond tout à fait exactement à la période moyenne des maxima des taches solaires. Il faudrait encore expliquer pourquoi cette dernière période augmente et diminue alternativement de trois à quatre ans, et pourquoi les maxima successifs sont variables dans leur grandeur absolue. Cela peut tenir peut-être en partie à la position de Jupiter et de Saturne dans leurs orbites au moment de la conjonction et de l'opposition, peut-être aussi en partie à un changement dans l'état magnétique du Soleil dans le siècle passé.

Cette influence sur la période moyenne des taches solaires, des conjonctions et des oppositions de Jupiter et de Saturne, se trouve acquérir un degré de probabilité de plus par le fait que Vénus et la Terre semblent exercer une action analogue, ainsi que cela résulte des recherches de M. Carrington, discutées avec soin par MM. Delarue et Stewart. Ainsi, tandis que la période de dix années pour les taches solaires serait diminuée par les conjonctions héliocentriques de Jupiter et de Saturne, les principales fluctuations dans le nombre et l'étendue des taches solaires en dehors de la période normale des dix années, tiendraient aux conjonctions et oppositions héliocentriques de Vénus et de la Terre. Il faut ajouter que les variations dans la période des dix années qui peut aller de sept à treize ans, ainsi que les grandes fluctuations dans l'intensité des maxima, ne peuvent pas s'expliquer par la simple configuration des planètes, sans admettre que le magnétisme du Soleil éprouve des changements séculaires analogues à ceux qu'on observe sur la terre.

Les variations diurnes de la déclinaison magnétique sont également discutées par M. Loomis, qui a pris surtout pour base les observations faites à Prague, lesquelles ont servi également à M. Wolf. Cette étude l'a conduit à reconnaître qu'une variation diurne de la déclinaison magnétique à Prague, qui ne s'élève pas au-dessus de six minutes, est indépendante des changements s'opérant d'année en année dans la surface du Soleil, mais que toute variation qui dé-

passe six minutes est exactement proportionnelle au nombre et à l'étendue des taches solaires, et peut être par conséquent attribuée à cette perturbation dans l'état de la surface de Soleil, ou bien que les deux perturbations tiennent à la même cause.

Venons-en à la partie la plus importante et la plus étendue du travail de M. Loomis, le retour périodique des grandes manifestations aurorales. Pour s'assurer si ces manifestations présentent un véritable caractère de périodicité, il est absolument nécessaire de ne pas combiner ensemble les observations faites à des stations situées à des latitudes très-différentes, en particulier celles faites dans les régions polaires avec celles faites aux stations d'une latitude moins élevée. Une longue série d'observations bien faites à une station unique, ou à un nombre limité de stations, pourrait seule donner des résultats très-satisfaisants. Si cette longue série ne peut pas être obtenue, on peut, en combinant avec soin les observations faites à différentes stations, parvenir à éliminer certaines anomalies, en particulier celles qui proviennent d'un ciel couvert qui cache la lumière aurorale. C'est en combinant les observations faites en Amérique (Newhaven, Cambrige, etc.), avec celles faites en Europe, que M. Loomis trouve une ressemblance incontestable entre la courbe qui représente le nombre des apparitions aurorales dans une année, et les courbes correspondantes de la déclinaison magnétique et des taches solaires. Cependant, la série des maxima et minima des apparitions aurorales est sensiblement plus considérable que celle des taches solaires, et les observations de déclinaison magnétique indiquent la même particularité. Mais il n'y a pas de doute que les manifestations aurorales obéissent à la période des dix années qui caractérise l'apparition des taches solaires: seulement la série des changements d'une année à l'autre est soumise à des influences qui pourraient être indépendantes du Soleil.

Cette périodicité ne paraît pas exister pour les aurores boréales dans les hautes latitudes. C'est ce que démontre M.

Loomis, en comparant les observations faites dans différentes années, par plusieurs voyageurs, dans diverses stations très-septentrionales. Ainsi en 1820, à 53° 56′, et à 64° 28′ de latitude, on observa également 142 aurores ; en 1833 à 62° 46′ on en observa 105, et à ces deux époques la perturbation de l'état de la surface solaire était à son minimum ; tandis qu'en 1848-49, où cette perturbation était à son maximum, on observa à 66° 54′, 122 aurores; en 1838-39, où la perturbation dépassait la moyenne des maxima, on observa à 69° 58′, 143 aurores, et en 1850-51 où la perturbation solaire dépassait aussi la moyenne des maxima, à 58° 43′ on observa 109 aurores; en 1851-53, on en observa 131 à 71° 21′. Toutes ces stations sont situées dans la zone de la plus grande fréquence des aurores.

De ce nombre encore restreint d'observations, on peut donc déduire que dans la zone de la plus grande fréquence les aurores, le nombre des apparitions aurorales est à peu près le même toutes les années et est indépendant de l'état de la surface solaire. Il est donc à présumer que la périodicité n'existe que dans l'éclat plus ou moins grand du phénomène, mais on ne peut encore se prononcer d'une manière définitive à cet égard. Par contre, dans les localités où le nombre moyen annuel des apparitions aurorales ne dépasse pas 20 ou 25, l'on retrouve la période des dix années des taches solaires ; cette périodicité est surtout marquée en Europe près du parallèle de 50° et en Amérique dans le voisinage du parallèle de 42°. Ainsi, à mesure qu'on s'éloigne de la zone de la plus grande fréquence des aurores, l'influence du Soleil sur le changement périodique dans le nombre des aurores se fait sentir davantage. Il faut encore remarquer, en premier lieu, que les maxima successifs des manifestations aurorales sont plus variables que ceux des apparitions des taches solaires, de sorte que la période de dix années peut quelquefois n'être pas bien marquée, ce qui pourrait faire croire que les véritables maxima n'ont lieu que tous les 60 ans ; en second lieu, que les irrégularités les plus pronon-

cées dans la courbe aurorale entre un maximum et un minimum correspondent à des irrégularités semblables, quoique légères, dans les courbes des taches solaires et des déclinaisons magnétiques.

Nous ne nous arrêtons pas à la partie du travail de M. Loomis dans laquelle il discute de plus près, en les rapprochant et les comparant, les observations relatives aux grandes perturbations magnétiques, aux apparitions aurorales et à la présence des taches solaires. Les trois courbes qui résultent de cet examen approfondi sont presque semblables pour les latitudes moyennes de l'Amérique, qui sont celles sur lesquelles porte le travail.

Observations du rédacteur. — Les conclusions auxquelles l'étude attentive des observations a conduit M. Loomis, en ce qui concerne l'influence de la latitude du lieu où se fait l'observation quant à la loi de périodicité pour les Aurores boréales, sont identiques avec celles que j'avais tirées moi-même des résultats un peu contradictoires auxquels étaient arrivés les savants et les voyageurs qui s'étaient occupés du sujet. Voici, en effet, comment je m'exprimais dans le numéro des *Archives des Sciences physiques* de mai 1869 (tome XXXV, p. 17).

« Quoi qu'il en soit, il me paraît bien effectivement établi que dans nos basses latitudes l'apparition des aurores boréales est soumise à une loi de périodicité. Mais comme il faut qu'elles aient une certaine intensité pour être visibles au delà des régions polaires, on peut dire que c'est seulement leur intensité qui est soumise à cette périodicité. Elles constitueraient donc un phénomène constant dû au rétablissement continu de l'équilibre électrique entre la terre et l'atmosphère s'opérant dans le voisinage des pôles ; mais l'intensité du phénomène, ou ce qui revient au même, l'intensité de l'électricité atmosphérique qui le produit, serait soumise à des variations régulières et périodiques, ce qui prouverait que l'origine de cette électricité doit être cherchée en dehors de notre globe, dans le soleil probable-

ment. Cette manière d'envisager le phénomène de la périodicité, qui est parfaitement d'accord avec les faits, montre que cette périodicité n'est nullement en opposition avec l'explication électro-magnétique du phénomène des aurores polaires ; explication indépendante de la cause de l'électricité atmosphérique, mais qui repose uniquement sur l'existence incontestable de cette électricité. » A. D. L. R.

G. Gore. De l'action thermo-électrique des métaux et des liquides. (*Proceedings of the Royal Society*, 23 février 1871.)

L'auteur s'est occupé de déterminer au moyen d'un galvanomètre l'intensité du courant qu'on obtient en plongeant dans un même liquide deux plaques de métal de même nature servant d'électrodes, l'une chauffée, l'autre à la température ambiante. Les nombreuses expériences qui ont été faites, soit avec des plaques de platine, soit avec des plaques de cuivre, avec un nombre très-considérable de liquides, ont conduit à des résultats que nous nous bornerons à résumer. Le nombre des liquides dans lesquels une plaque de cuivre chauffée s'est trouvée positive par rapport à la froide, a été de 30, tandis qu'il n'y en a que 20 dans lesquels elle a été négative ; nous n'en ferons pas l'énumération qui serait très-longue, d'autant plus qu'on n'y découvre aucune loi générale Cependant nous rapporterons quelques détails qui ne sont pas sans intérêt. Dans certains cas le métal chauffé étant négatif dans une solution faible, devient positif dans la même solution concentrée. La nature de l'acide dans une solution saline paraît exercer sur la direction du courant une action prépondérante à celle qu'exerce la nature de la base. Dans tous les liquides plus ou moins alcalins le cuivre chauffé est toujours positif. La déviation du galvanomètre, soit l'intensité du courant, augmente dans une proportion plus rapide que le degré de concentration de la solution ; cela se remarque surtout avec les solutions de sulfate de magnésie, de

chlorure de sodium et d'acide hydrochlorique. Le cuivre chauffé est fortement négatif dans les acides sulfurique, nitrique, chlorique, hydrobromique, hydrofluosilicique, quoique l'action chimique sur le métal soit très-forte, ce qui est aussi le cas avec le platine. Il est probable que lorsque le cuivre est positif le développement de l'électricité est dû à l'action chimique seule, tandis que dans les autres cas la chaleur agit aussi directement. Ajoutons que la déviation du galvanomètre n'est pas toujours proportionnelle à l'intensité de l'action chimique.

L'auteur estime que les courants produits par des différences de température entre les électrodes proviennent, soit de l'influence directe de la chaleur dont l'effet est de rendre le cuivre chauffé, négatif dans les liquides acides, et positif dans les alcalins, soit de l'action chimique qui dans quelques cas est plus puissante que l'action de la chaleur et change le sens du courant, soit enfin des deux actions combinées.

Il est probable que les courants qu'on obtient avec des plaques de cuivre sont influencés, sinon dans leur direction, du moins dans leur intensité, par l'action oxydante de l'air agissant sur les points de contact du métal et du liquide. L'auteur a, en effet, montré directement par l'expérience que cette action est très-énergique et qu'elle est toute chimique. Nous ne décrirons pas les procédés qu'il a employés pour le prouver; ils consistent naturellement à multiplier en découpant convenablement une plaque de cuivre, les points de contact qui existent entre les bords de la plaque plongée dans le liquide et l'air ambiant.

En plongeant les lames de cuivre dans des liquides de même nature, mais amenés à des degrés de concentration différents, on voit que dans cinq cas sur six, c'est la lame plongée dans le liquide le plus concentré qui est positive par rapport à celle plongée dans le liquide le plus faible ; en outre les résultats obtenus dans ce genre d'expérience montrent qu'il n'existe aucun rapport entre l'influence de la chaleur et celle du degré plus ou moins grand de concentration du

liquide. Ainsi donc le nombre plus ou moins considérable de particules liquides en contact avec la plaque métallique est sans influence, ce qui montre que l'effet de la chaleur ne tient pas à l'écartement des particules de la couche liquide en contact avec la plaque chauffée. L'effet du frottement de l'électrode métallique contre le liquide dans lequel elle plonge n'a non plus aucune analogie avec celui de la chaleur; car en imprimant à cette électrode un mouvement rapide dans le conducteur liquide, on obtient bien des résultats différents dans l'intensité et le sens du courant de ceux que donnent la même électrode métallique en repos; mais ces résultats ne sont point d'un autre côté semblables à ceux que produit l'élévation de la température.

D'autres essais tentés par l'auteur lui ont démontré que les propriétés thermo-électriques des liquides ne dépendent nullement de leurs propriétés magnéto-optiques ou autres. Il conclut de toutes ses expériences que les courants que produit l'influence directe d'une inégalité de température entre deux électrodes de platine ou de cuivre, plongés dans des liquides conducteurs qui n'exercent aucune action chimique sur ces métaux, ne peuvent avoir leur origine que dans les changements temporaires de cohésion qui ont lieu dans les couches de métal et de liquide en contact immédiat; ce qu'on peut considérer comme une preuve très-délicate de la nature et de l'intensité des mouvements moléculaires temporaires produits par ces différentes causes [1].

W. DE BEZOLD. UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE ELEKTRISCHE ENTLADUNG. RECHERCHES SUR LA DÉCHARGE ÉLECTRIQUE. (*Pogg. Ann.* tome CXL, page 541.)

L'auteur avait fait, on s'en souvient, une étude approfondie des figures que l'on peut obtenir à l'aide de poussières fines

[1] Nous ne sommes pas éloignés de croire que les divers phénomènes observés par M. Gore proviennent tous d'actions chimiques plus ou moins modifiées par la température et par les autres causes dont l'auteur a étudié les effets. (*Réd.*)

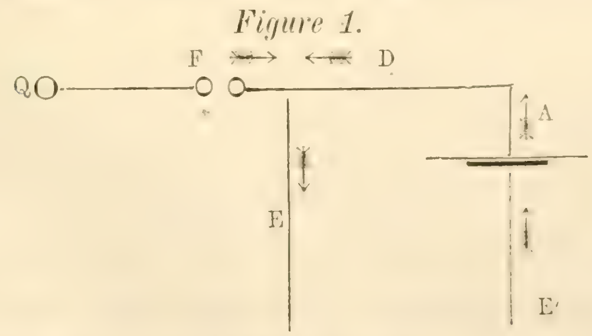
sur des conducteurs métalliques ou des surfaces isolantes entre lesquelles jaillit l'étincelle électrique[1]; nous avons vu que cette étude l'avait amené à reconnaître dans ces figures électriques, appelées aussi *figures de Lichtenberg*, un critère précieux, donnant des indications infaillibles sur le sens et la nature de la décharge qui les produit. Dans le travail dont nous rendons compte ici, l'auteur applique ce procédé avec succès à l'examen du jeu spécial de l'électricité dans un certain nombre de cas non encore étudiés.

Dans les expériences suivantes les figures électriques étaient produites sur un *carreau d'épreuve* (*Probeplatte*) consistant en une plaque de verre horizontale portant sur sa face inférieure une armature en papier d'étain et nue à sa face supérieure, de plus surmontée d'une pointe métallique verticale qui est maintenue à une très-faible distance au-dessus d'elle, ou qui peut même être amenée en contact avec sa surface supérieure. Lorsque cette pointe est reliée à l'un des pôles d'une machine électrique ou d'une bobine d'induction, tandis que l'armature communique avec l'autre pôle ou avec le sol, la quantité d'électricité accumulée par influence sur la face nue de la plaque de verre ne tarde pas à se combiner avec celle qui tend à s'écouler par l'extrémité de la pointe, il se produit ainsi une ou plusieurs décharges qui, suivant leur nature déterminent des figures électriques de formes très-diverses.

Nous allons donner un rapide exposé des différentes expériences que M. de Bezold a éxécutées avec ce procédé et des conclusions qu'il a cru pouvoir en tirer.

1re expérience. Un micromètre à boules F (fig. 1) communi-

Figure 1.



[1] *Archives*, 1870, tome XXXIX, page 372.

que d'une part avec le pôle positif Q d'une machine électrique, d'autre part avec un conducteur métallique qui se subdivise à peu de distance de lui en deux autres, dont l'un E va directement à la terre, et dont l'autre D aboutit à la pointe d'un carreau d'épreuve qui a son armature reliée à la terre. Avec cette disposition l'on devait s'attendre à ce que la décharge passerait uniquement ou presque uniquement par le fil E qui présente le trajet le plus court; il n'en fut rien cependant, et au lieu qu'il ne se produisît aucune figure sur le carreau ou qu'il s'y produisît une faible figure positive, l'on vit se former une figure négative qui montrait que non-seulement la décharge s'était accomplie entièrement par E, mais même qu'elle avait provoqué dans le fil D une décharge de sens inverse, une sorte d'aspiration d'électricité en D. Cette expérience lui ayant laissé des doutes, l'auteur la répéta en remplaçant la machine électrique par une bobine de Ruhmkorff[1]; les résultats obtenus varièrent avec la longueur de l'étincelle en F. Tant que l'intervalle entre les deux boules fut petit, la décharge en D A E′ fut de même sens qu'en E, mais à mesure que cet intervalle augmentait, les dimensions de la figure électrique produite sur le carreau d'épreuve diminuaient. C'est ainsi que, dans le cas où c'était le pôle négatif du Ruhmkorff qui était relié au micromètre, l'on a obtenu d'abord avec une longueur d'étincelle égale à 1^{mm} des figures négatives de 15^{mm} de diamètre environ, puis avec un écartement de 10^{mm}, des figures négatives beaucoup plus petites, présentant seulement un diamètre de 2^{mm}. Lorsque cet écartement fut encore augmenté, il ne se produisit plus aucune figure, enfin elles reparurent lorsque l'étincelle en F avait 15^{mm} ou plus, mais cette fois ce n'étaient plus des figures négatives, mais des figures franchement positives.

Lorsque on met l'appareil à boules en communication avec le pôle positif du Ruhmkorff, l'on obtient d'abord des figures positives lesquelles deviennent de plus en plus petites et finissent par céder la place à des figures négatives.

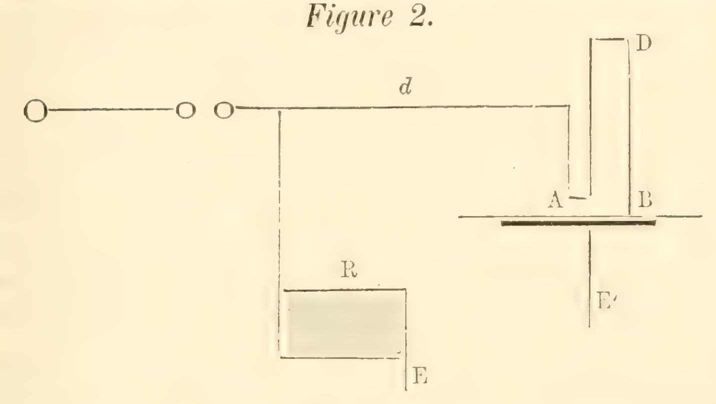
On le voit, suivant la longueur de la colonne d'air F qu'elle

[1] L'un des pôles de cette bobine était en communication avec l'appareil à boules, l'autre avec la terre.

avait eu à traverser préalablement. la décharge se partageait entre les deux circuits E et D E', ou bien passait uniquement par le premier, tandis qu'il se produisait dans le second un courant de sens inverse à celui qui le parcourait précédemment.

IIme expérience. La disposition (fig. 2) est à peu près la même

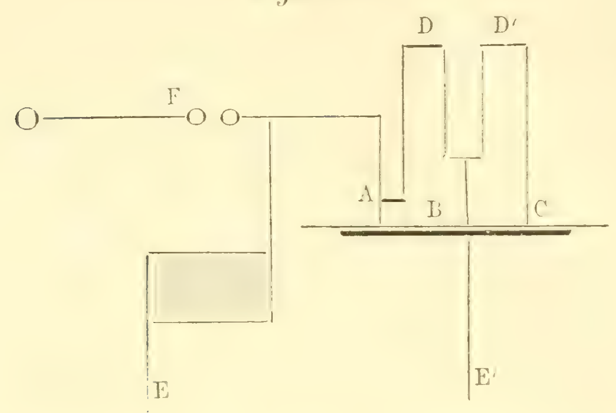
Figure 2.



que ci-dessus, sauf que immédiatement au-dessus du point où le fil conducteur aboutit au carreau d'épreuve, il part un second fil lequel formant un circuit dérivé, D se termine en B sur la plaque de verre. Pour obtenir une décharge alternante avec laquelle l'on obtient des résultats plus constants, on avait introduit en R dans le circuit E, la spirale inductrice d'une bobine du Ruhmkorff. On tournait lentement la machine électrique jusqu'à ce qu'il se produisît une étincelle, immédiatement il se formait en A et B des figures positives bien caractérisées; lorsque le circuit D était très-court, ces deux figures étaient de dimensions absolument égales, lorsque le circuit D devenait plus long, par exemple lorsqu'il avait atteint la longueur d'un mètre, la figure B devenait sensiblement plus grande que la figure A. Pour $D=6^{m},4$ $F=4,0^{mm}$ la figure A était réduite à une petite étoile ou disparaissait même complétement. D continuant à devenir de plus en plus long, le résultat est le même jusqu'à une longueur de 12 mètres environ. A partir de là la figure A commence à augmenter de nouveau jusqu'à redevenir égale à l'autre. L'auteur conclut de cette observation que la loi de Ohm pour la distribution d'un courant entre deux conducteurs différents ne s'applique pas à la décharge électrique.

*III*me *expérience.* Pour examiner le détail de ce qui se

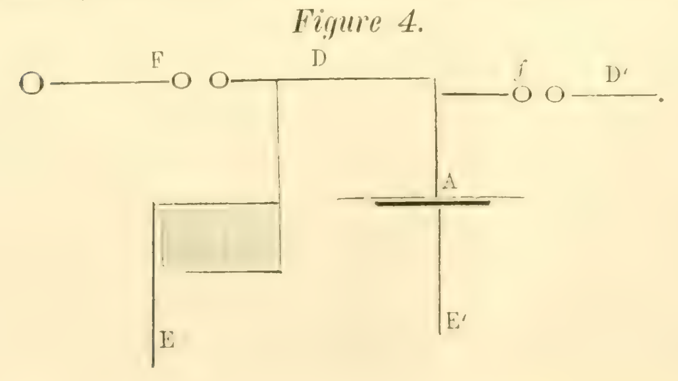
Figure 3.



passe dans le circuit D, l'auteur l'a divisé et en a fait partir un second circuit D′ (fig. 3) aboutissant en C sur le carreau d'épreuve. Les longueurs de ces fils étant choisies de manière à ce que la fig. A soit petite et la fig. C au contraire grande, la fig. B aura des dimensions intermédiaires entre celle des deux autres. Le circuit dérivé étant plus long, il arrive pour un rapport convenable entre D et D′ que la fig. B diminue de plus en plus, tandis que A et C deviennent égales. Lorsqu'on soulève l'un ou l'autre des fils qui aboutissent à la plaque de verre, les figures produites aux points de contact des deux autres ne sont absolument pas modifiées; le seul fait que l'aiguille du carreau d'épreuve communique avec un tronçon de circuit sans issue suffit donc pour modifier complétement la figure qui se produit sous cette aiguille et même la faire disparaître complétement.

*IV*me *expérience.* Ce fait ressort encore plus clairement

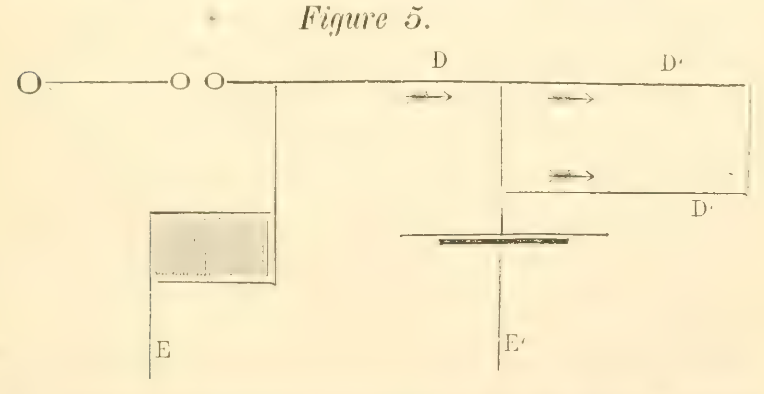
Figure 4.



dans l'expérience suivante dont la disposition est indiquée par la figure 4: un fil conducteur D′ se détache de B immédiatement au-dessus de l'aiguille et est isolé à son extrémité. Quelque part sur le trajet de ce fil, on a disposé un micromètre à boules f; celui-ci étant d'abord à une grande distance de l'aiguille, puis rapproché peu à peu, il viendra un moment où l'étincelle jaillira en f, à l'instant même la figure en A est modifiée jusqu'à disparaître entièrement. L'auteur en conclut qu'il se produit ici un phénomène tout à fait analogue à une réflexion, l'électricité a pénétré jusqu'à l'extrémité du fil D′ et est revenue sur ses pas. M. de Bezold admet que la rencontre des ondes électriques directes avec les ondes réfléchies doit produire des interférences et il compare les points qui donnent dans cette expérience des maxima ou minima de figures électriques à des ventres ou nœuds de vibrations.

Vme expérience. A côté de D se trouve un circuit dérivé D′

Figure 5.



(fig. 5); avec une longueur bien choisie de D′, la fig. A disparaît complètement. Un micromètre à boules introduit dans ce circuit dérivé n'est traversé par aucune étincelle lorsqu'il est placé presque exactement au milieu du fil D′, tandis qu'il en donne une dans toute autre position. L'auteur voit là la preuve de ce fait que la décharge pénètre également et simultanément par les deux extrémités de la boucle D′; au point milieu de la boucle les deux décharges partielles arrivent simultanément et il n'y a point d'étincelle; partout ailleurs il y a retard de l'une de ces deux décharges partielles sur l'autre qui alors agit seule. Cette expérience peut se faire plus sim-

plement en prenant comme source d'électricité une machine de Ruhmkorff dont l'un des pôles communique avec la terre, l'autre avec l'une des boules du micromètre en faisant aboutir les deux extrémités de la boucle à l'autre boule. Le résultat était le même quand les deux portions de la boucle étaient formées de fils de substances différentes, d'où l'on peut conclure que la vitesse de propagation de la décharge électrique est la même pour tous les fils conducteurs.

Les conclusions que l'auteur croit pouvoir tirer de ce travail sont donc les suivantes :

1° *Lorsque après une interruption, qu'elle franchit sous forme d'étincelle, l'on offre deux chemins différents à la décharge électrique pour s'écouler dans la terre, l'un court et direct, l'autre plus long, interrompu par un carreau d'épreuve, l'on observe avec de petites longueurs d'étincelles un partage du courant. Avec de longues étincelles, en revanche, l'électricité ne suit que la branche plus courte et entraîne même l'électricité de même nom de l'autre branche.*

2° *Si l'on envoie une série d'ondes électriques dans un fil isolé à son extrémité, celles-ci y subissent une réflexion, et certains faits particuliers que l'on observe dans le cas des décharges alternantes semblent résulter de l'interférence des ondes réfléchies et directes.*

3° *Une décharge électrique parcourt toujours également vite une même longueur de fil, quelle que soit la substance dont ce fil est formé.*

Si ces conclusions peuvent paraître encore un peu hardies sur certains points, les expériences ci-dessus n'en présentent pas moins un véritable intérêt. E. S.

G.-Johnstone STONEY. ON THE CAUSE.... SUR LA CAUSE DE LA DISCONTINUITÉ DU SPECTRE DES GAZ. (*Phylosophical Magazine*, avril 1871.)

L'analogie des phénomènes lumineux et acoustiques a fait naître chez plusieurs physiciens l'idée qu'il pourrait y avoir entre les diverses raies brillantes formant le spectre d'un gaz une relation semblable à celle des différents sons supérieurs

qui accompagnent en général le son fondamental rendu par la vibration d'un corps sonore. M. Stoney, après un exposé théorique de la question dans lequel il rappelle les beaux travaux de M. Helmholtz sur la perception des sons[1], indique une relation remarquable à cet égard entre trois des lignes du spectre de l'hydrogène, correspondant aux raies C, F et *h* de Fraunhofer. Les longueurs d'ondulation de ces lignes déterminées dans l'air par Angström, sont

pour *h* = 410,120 millionièmes de millimètre.
» F = 486,074 » »
» C = 656,210 » »

Corrigeant par le calcul ces valeurs pour les ramener aux longueurs d'ondulation dans le vide, l'auteur trouve qu'elles représentent avec une grande exactitude les 32me, 27me et 20me harmoniques d'une vibration fondamentale dont la longueur d'ondulation dans le vide serait de 0^{mm},13127714 ; c'est ce que montre le tableau suivant :

	Longueurs d'ondulation		
	observées et corrigées pour le vide.	calculées.	Différences.
h	410,237	410,241	+0,004
F	486,211	486,212	+0,001
C	656,393	656,386	—0,007

Les différences entre les résultats observés et calculés sont inférieures à la limite d'exactitude qu'Angström attribue à ses observations.

Les autres harmoniques de la même vibration fondamentale ne se manifestent pas dans le spectre ordinaire de l'hydrogène ou de 2me ordre ; on les trouverait peut-être dans les autres spectres de ce gaz et particulièrement dans celui du 1er ordre.

[1] Voyez *Archives*, 1863, tome XVII, p. 194.

JANSSEN. COMPAS AÉRONAUTIQUE. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, février 1871, tome LXXII, p. 222.)

Le compas aéronautique consiste en une boîte cylindrique de métal, de 10 à 12 centimètres de diamètre et de hauteur. Le fond inférieur du cylindre est en verre; deux bras s'élèvent de la partie supérieure de la boîte, et supportent, à 28 ou 30 centimètres du fond et dans l'axe du cylindre, une petite plaque percée d'un trou. Ce trou de quelques millimètres de diamètre, est un point de visée ou œilleton : l'œil s'y applique pendant les observations. Sur le fond de verre est tracée une série de circonférences, dont les rayons sont calculés pour êtres vus, du trou de visée, sous des angles croissant de 1, 2, 3,.... 10 degrés. La plus grande de ces circonférences est divisée de 10 en 10 degrés, et porte les diamètres 0°-180°, 90°-270°, 45°-225°, 135°-315°. Nous la nommerons la grande circonférence.

L'instrument est muni d'une suspension à la Cardan, afin d'assurer, pendant les observations, la verticalité de l'axe. Une aiguille aimantée est fixée sur le fond, un peu excentriquement, pour dégager la vue du centre; elle se meut au-dessus d'une circonférence également gravée sur le verre, et dont le diamètre 0°-180° est parallèle au diamètre semblable dans la grande circonférence.

Cet instrument peut donner en même temps la direction et la vitesse de l'aérostat.

Le compas étant tenu en dehors de la nacelle, au moyen de poignées fixées au cercle extérieur de la suspension, on l'oriente d'abord en amenant les pointes de l'aiguille aimantée sur la ligne de foi, 0°-180° de son cercle divisé.

Regardant alors le sol par l'œilleton, on attend qu'un objet ou une portion d'objet quelconque passe par le centre des cercles. En cet instant, on compte le temps, jusqu'au moment où l'objet remarqué traverse la grande circonférence, et l'on note en outre par quelle division de cette circonférence s'est effectué le passage. L'aiguille de la boussole

étant parallèle au diamètre de 0°-180° de la grande circonférence, la connaissance du point de cette circonférence où l'objet a passé donne immédiatement l'angle de la route avec le méridien magnétique; il reste à corriger cet angle de la déclinaison.

Si l'aérostat est animé d'un mouvement de rotation assez rapide, il devient nécessaire d'en tenir compte. L'axe du compas, au lieu de suivre une parallèle à la ligne décrite par le centre du ballon, engendre alors une courbe cycloïdale, et la direction qu'on obtient est celle de la tangente à la courbe, à l'instant où l'objet qui sert de point de repère passe par la grande circonférence du compas. Mais si l'on remarque que cette tangente fait des angles égaux et de signes contraires avec la véritable route, dans tous les couples de points séparés par une demi-rotation du ballon, on sera conduit à prendre la moyenne des directions obtenues en des points ainsi espacés.

Voyons maintenant la vitesse.

Le temps qui a été mesuré est celui qu'un point du sol a mis à parcourir, d'une manière apparente, un rayon de la grande circonférence du compas, ou en réalité le temps que l'aérostat a employé à parcourir la projection conique de ce rayon sur le sol. Cette projection est à la hauteur de l'aérostat au-dessus du sol dans le même rapport que le rayon de la grande circonférence est à la hauteur du compas. Or ce rayon étant de grandeur calculée pour être vu du trou de visée sous un angle de 10 degrés, le rapport en question est celui de la tangente d'un angle de 10 degrés au rayon, c'est-à-dire le rapport de 0,176 à 1. Par exemple, si le temps compté est de 18^s,4 et que la hauteur de l'aérostat soit de 2200 mètres, la vitesse cherchée sera égale au produit de 2200 mètres par 0,176 divisé par 18,4, ce qui donne 21 mètres par seconde, ou 76 kilomètres à l'heure. C'est sensiblement la vitesse moyenne du *Volta*[1].

[1] Ballon avec lequel l'auteur est sorti de Paris le 2 décembre 1870. (*Réd.*)

Ces calculs sont bien simples, mais l'aéronaute n'est même pas tenu de les exécuter. On pourra construire une petite table qui donnera immédiatement la vitesse à l'heure, au moyen du temps et de la hauteur.

Ainsi la direction et la vitesse de l'aérostat sont obtenues par la même observation, et dans un temps extrêmement court. Il est seulement nécessaire qu'on connaisse la hauteur du ballon au-dessus de terre ; mais cette hauteur est donnée par le baromètre, et l'on peut encore employer ici une table préparée d'avance, au moment du voyage, avec les éléments météorologiques du jour. Au moment de mon départ par le *Volta*, j'avais calculé une table de ce genre et j'en avais inscrit les résultats sous la division de l'instrument, de sorte que l'aiguille indiquait en même temps la pression et la hauteur.

Du reste cette hauteur pourrait être obtenue très-simplement au moyen d'un pétard qu'on laisserait tomber sur le sol et qui s'enflammerait par le choc. On compterait alors le temps depuis l'apparition du feu jusqu'à l'audition de l'explosion.

Je compte revenir sur l'emploi des appareils pouvant produire du bruit ou des feux intenses, soit pour mesurer la vitesse et la direction quand l'obscurité ou des brumes cachent la vue du sol et peuvent être cependant percées par une forte lumière, soit encore pour s'assurer si l'on est au-dessus de la mer ou si l'on en approche.

Le compas aéronautique peut encore donner la direction de l'aérostat d'une autre manière.

Les branches qui supportent le trou de visée sont munies de pinnules qui permettent de déterminer l'azimut d'un objet éloigné, visé à travers ces pinnules, avec le méridien magnétique. On choisira donc un objet éloigné *au-dessus duquel le ballon aura passé*, et, en le visant à travers les pinnules en question, on obtiendra l'angle de route avec la direction de l'aiguille aimantée, et par suite avec le méridien du lieu.

Toutes ces déterminations n'éxigent pas que la nacelle soit dans un repos apparent absolu; elles deviendraient néanmoins difficiles avec des mouvements un peu forts, mais ceux-ci sont toujours faciles à éviter ou à éteindre. Il faut que la charge de la nacelle soit également répartie autour de l'axe vertical du ballon, il faut que les aéronautes s'abstiennent de mouvements brusques et restent autant que possible à leur place. A bord du *Volta*, j'ai pu presque toujours me servir d'une boussole carrée, dont j'orientais un des côtés sur la ligne tracée sur le sol par une des pointes de notre ancre, ce qui me donnait l'angle de route avec le méridien magnétique. J'ai pu même employer, avec la plus grande facilité, une lunette assez forte, pour l'exploration de la contrée. Il est donc hors de doute que le compas aéronautique pourra être utilisé dans l'immense majorité des cas.

ZOOLOGIE, ANATOMIE ET PALÉONTOLOGIE.

H. Ehrenberg. Résumé sommaire de recherches suivies depuis 1847 sur les germes organiques, invisibles a l'oeil nu, suspendus dans l'atmosphère. (*Comptes rendus mensuels de l'Académie des sciences de Berlin*, janvier 1871. Traduction.)

1. Depuis 1847 je n'ai perdu aucune occasion d'étudier, à l'aide de l'analyse du microscope, les phénomènes météorologiques tels que le *Passatstaub* et la *Pluie de sang*......

2. En 1847, on avait observé 340 phénomènes du genre de ceux qui nous occupent.

Aujourd'hui nous en apportons 186 étudiés depuis cette époque, ce qui porte le total des observations à 526. Elles ne sont pas toutes, il va sans dire, de même valeur.

Dans ce nombre il y en a 200 qui portent sur de simples météores de poussière rouge (*rothe Staubmeteore*). J'ai analysé la substance de 27 spécimens de ces poussières. Depuis j'en ai encore étudié 42, mais ces échantillons sont détruits actuellement.

3. Arago jusqu'à sa mort, survenue en 1853, continua à attribuer à des phénomènes cosmiques, l'apparition des brouillards de poussière rouge et de sable fin; il se basait sur les travaux importants de Chladni sur ce sujet. Mais A. de Humboldt, dès 1849, fut convaincu par mes analyses microscopiques de ces poussières; il n'admit plus l'origine cosmique et, renonçant à cette théorie, il donna comme cause de ces météores les courants d'air ascendants qui entraînent avec eux des particules terrestres. C'est dans cette idée qu'il nomma avec moi ces phénomènes des *Passatstaub*.

4. Les 42 analyses que j'ai faites avec ces échantillons de brouillards de poussière, que l'on a appelés pluie de sang et neige rouge, la plupart fraîchement tombés, portent dans les tableaux d'analyse l'indication de *300 formes organiques distinctes* quoique plus ou moins semblables aux formes de même nature déjà connues.

5. L'ensemble des tableaux de mes analyses démontre que la totalité de ces formes organiques se retrouvent non-seulement dans mes 42 spécimens nouveaux, mais également dans les 27 que j'ai étudiés précédemment et qui ont été publiés dès 1847 avec leurs caractères essentiels.

Ils sont composés en majeure partie de *Bacillariens* et de *Phytolithariens* de *Terre de brique*, mélangés d'autres substances organiques calcaires et carbonifères.

6. Les 42 analyses les plus récentes des Passatstaub rouges, de différentes espèces, démontrent comme les 27 précédentes de 1847, que le mélange dont ces poussières se composent est partout le même, non-seulement comme substances chimiques constituantes, mais encore sous le rapport de l'analogie des espèces et de leur forme; cette analogie est si frappante qu'il est impossible de ne pas y voir la preuve certaine d'une communauté d'origine.

7. Pour chaque cas on vérifie cette harmonie dans deux éléments importants qui se trouvent constamment semblables. D'un côté on constate que toujours les mêmes formes d'êtres organisés, y compris les Polygaster pourvus de parties externes molles, appartiennent aux espèces d'eau douce, et que beaucoup de Phytolithariens et de Spongolithes parta-

gent cette condition de vie. D'un autre côté on observe que des centaines d'espèces, constamment les mêmes, l'emportent quant au nombre de leurs représentants.

8. Le fait particulièrement frappant à signaler est que certaines espèces de Bacillariens, très-abondantes à la surface du sol de toutes les parties du monde, ne se trouvent jamais, ou presque jamais dans le Passatstaub, tandis qu'au contraire on y découvre des espèces fort rares dans la couche supérieure du sol de tous les pays.

9. Il importe de faire remarquer encore que ce n'est pas la masse totale qui est composée d'éléments organiques, mais que, d'après les toutes récentes analyses, ceux-ci ne s'y trouvent que dans la proportion de $\frac{1}{12}$ et à $\frac{1}{8}$, par rapport au volume de fine poussière de terre de brique dans laquelle on trouve quelquefois des grains de sable à facettes.

10. Il est évident que les déserts arides et secs du Sahara ne peuvent être le point de départ de ces germes organisés aquatiques, car les brouillards de sable ont apparu dans toutes les saisons de l'année, dans les mêmes conditions.

11. Dans mon ouvrage, publié en 1868, sur les terres rouges de Guinée, j'ai démontré que la couche supérieure du Sahara ne pouvait en aucune manière être propre à la formation de ces poussières rouges, pas plus que le continent africain tel qu'on le connaît à l'époque actuelle.

12. Les navigateurs ont pu constater, près du Cap-Vert, l'épaisseur de ces brouillards de poussière rouge, ainsi que leur grande étendue.

En 1863, une observation importante fut faite par les vaisseaux mouillés dans le port au pied du pic de Ténériffe. Une heureuse chance permit de reconnaître simultanément la présence du phénomène au niveau de la mer et au sommet du pic, où, il est vrai, il ne put être constaté que par la couleur de la neige. L'épaisseur du brouillard rouge atteignait ainsi un minimum de 11400 pieds.

La masse de neige rouge tombée dans les hautes Alpes de la Suisse a été estimée dernièrement à 30000 quintaux en un jour, et à 350 quintaux par mille carré anglais pour la chute qui se produisit simultanément le 29 mars 1869 aux

Dardanelles et en Sicile. La distance énorme qui sépare les îles de l'Archipel de la Sicile où le phénomène a été constaté le même jour, dépasse de beaucoup ce qu'on avait présumé jusqu'ici de son étendue possible; cette observation a été faite dans d'autres localités et a donné des chiffres analogues sur la densité de ce brouillard.

13. Les analyses faites en dernier lieu de la neige rouge tombée aux Dardanelles, sont propres à expliquer les récits d'Homère sur des pluies de sang à Troie, en Grèce et à Constantinople. L'analyse d'une poussière tombée à Ispahan révélera peut-être ce qu'est la terre étrange qui, d'après Abdellatif, fertilise les déserts de l'Iran et de l'Afganistan.

Les amoncellements considérables de poussière rouge du désert du Béludchistan jusqu'à Kaschgar, attendent encore la visite de voyageurs aimant la science, pour pouvoir être analysés.

14. Les recherches faites pendant les années 1848 et 1849, durant la terrible épidémie du choléra à Berlin, nous ont permis d'avancer nos connaissances sur ce sujet, en comparant simultanément les poussières qui sont ordinairement en suspension dans l'air, tant en Allemagne qu'en Égypte et dans le Venezuela. On a trouvé que cette poussière volante, en se déposant sur les troncs élevés des arbres, y développait une véritable faune, qui se traduisait par d'épaisses couches de mousse et d'autres parasites qu'on peut également observer sur les cèdres du Liban.

15. Nous avons vu qu'en 1863 le Pic de Ténériffe fut couvert et enveloppé d'une nuée, sous forme de brouillard rouge qui s'élevait à une hauteur de plus de 11400 pieds: on a remarqué, en 1858, un phénomène analogue sur les glaciers des Alpes et dans l'Himalaya, haut de 20000 pieds. L'atmosphère, chargée de germes invisibles, les laissa choir à cette élévation, de telle sorte qu'ils couvrirent le sol.

16. Les savants les plus compétents ont cru pouvoir attribuer à une même origine les rouges Passatstauben et les différents autres météores, comme les étoiles filantes.

L'histoire constate un grand nombre de cas où les pluies de sang étaient mêlées de météores de feu et de chute d'aé-

rolithes : il est donc important de distinguer si cette coïncidence est fortuite ou si réellement il y a une cause commune.

Les météores, les aérolithes se forment-ils dans la zone du Passatstaub, ou bien sont-ils des productions de zones plus élevées ? Dans ces derniers temps, on n'a pu observer aucun cas de ce genre qui pût être soumis à l'analyse scientifique, et, jusqu'à aujourd'hui, nous en sommes réduits aux deux seuls cas constatés, l'un en 1813, où un effroyable ouragan fut accompagné de pluie de sang et de pierres, et l'autre à Lucerne en 1421, où il tomba, dit-on, des Drachensteine (pierre du dragon) avec accompagnement de météores de feu ayant la couleur du sang.

J'aurais pu analyser la composition des pierres rouges recueillies en 1813, dans le premier cas cité, si malheureusement le seul échantillon, appartenant à M. l'ambassadeur Pourtalès, ne se fût perdu. Quant au météore de Lucerne, on n'a rien conservé de la masse rouge ressemblant à du sang, lors même qu'en 1849 j'ai vu et étudié une pierre aérolithe de cette époque, qui se trouve être la propriété de la famille Mayer-Schauensee de Lucerne.

17. Si les cas précités ne nous permettent pas de porter un jugement décisif quant à l'origine cosmique des météores sous forme de poussière volante, ils ne manquent pas cependant d'un grand intérêt, et attirent l'attention toute spéciale sur le travail que M. le professeur Gall vient de faire paraître dernièrement. Ce savant a réuni, dans une exposition historique, l'ensemble des apparitions d'étoiles filantes que l'on a observées, en y ajoutant une longue liste de météores qui semblaient d'origine cosmique, mais qui renfermaient une grande quantité d'éléments carbonifères.

Nous remarquerons de nouveau que la présence de ces éléments de charbon dans des météores qui paraissent tenir à une cause cosmique, exige des études toujours plus sérieuses et une méthode d'analyse aussi exacte que possible, ainsi que nous l'avons recommandé précédemment.

18. Si nous détachons nos regards du côté purement spéculatif du livre d'Arago, malgré son affirmation sur l'ori-

gine cosmique des brouillards de poussière et de ce qui concerne ce sujet, nous voyons plus distinctement encore apparaître la relation intime qui existe entre les Passatstauben et la présence de germes vivants dans l'air, fait mis en lumière dès 1847.

Ces organismes invisibles ont été reconnus pour des êtres complets, pouvant se conserver et se reproduire.

Dans ces 30 dernières années on a beaucoup avancé l'étude de ce champ nouveau de phénomènes de la vie, tant par les travaux géologiques de la terre en général, que par les découvertes faites dans les monts Bacillariens au Mexique et en Californie.

Aujourd'hui l'on possède la connaissance d'à peu près 548 espèces de formes organisées, entièrement invisibles à l'œil nu, dont 192 de la famille Polygaster ; suspendus dans l'atmosphère, ils restent dans une sorte de léthargie dont l'humidité les réveille, ils font alors de rapides progrès en se développant.

Nous rappellerons les formes organisées décrites précédemment, telles que les germes que l'on trouve sur les toits, les tours, dans les mousses des arbres, sur les troncs élevés et jusque sur les sommités des Alpes ; il est quelquefois facile d'activer leur développement artificiellement.

Ces faits réunis prouvent une fois de plus, que la vie dans l'atmosphère ne provient nullement d'une génération spontanée......

BOTANIQUE.

Caruel. Statistica botanica ..... Statistique botanique de la Toscane. Florence 1871, 1 vol. in-8°.

Tandis que M. Parlatore continue sa Flore détaillée de l'Italie, dont il a déjà paru quatre volumes [1], M. Caruel, qui a

[1] *Flora italiana*, in-8°. Les trois premiers volumes renferment les Monocotylédones, le quatrième une partie des Dicotylédones. La plupart des descriptions ont été faites sur le frais, et les types des localités qui sont citées en grand nombre se trouvent dans l'herbier du musée de Florence dirigé par l'auteur.

concentré ses efforts sur le champ plus limité de la Toscane et en a publié une flore abrégée [1], vient d'exposer, dans un ouvrage spécial, ce qui concerne la géographie botanique de cette partie centrale de la péninsule.

L'idée du livre est à peu près celle que M. Watson a poursuivie dans la *Cybele britannica* [2], imitée en Irlande [3]. La forme est souvent la même, seulement M. Caruel a pris pour titre un mot connu qui indique parfaitement ce que renferme l'ouvrage.

Après une description géographique de la Toscane, et une indication des botanistes qui l'ont explorée, l'auteur compare sa flore à celles de l'Italie et de l'Europe. Il distingue ensuite cinq régions botaniques en Toscane, savoir: les maremmes et îles voisines, les plaines ordinaires, le pied des montagnes (regione submontana), le penchant moyen (regione montana) et la région alpestre. Il parle ensuite de la flore des collines dites *gabbri*, qui sont une production éruptive particulière, aux environs de Livourne. Il termine par un chapitre sur les changements survenus dans la flore du pays, depuis les temps historiques et dans ceux qui ont immédiatement précédé.

La distribution des espèces, dans une ou plusieurs régions, est indiquée par des tableaux. Les proportions numériques des espèces, genres et familles sont données selon les formes ordinaires. Nous n'insisterons pas sur ces points, ni sur les renseignements de topographie botanique, mais plutôt sur les faits qui touchent à des considérations plus générales de géographie botanique, comme la flore alpestre et celle des petites îles entre la Toscane et la Corse.

La flore alpestre est confinée sur quelques sommités de

[1] *Prodromo della Flora toscana*, un vol. in-8°. Firenze, 1860.

[2] *Cybele britannica*, 4 vol. in-8°. London, 1847-1869, suivie du *Compendium of the Cybele britannica*, 3 parties, in-8°. London, 1868-1869.

[3] D. Moore et Alex. Goodman More, *Contributions towards a Cybele hybernica*, 1 vol. in-8°. Dublin, 1866.

l'Apennin, dont la plus haute n'atteint pas 2100 mètres, et où, par conséquent, la neige ne persiste pas en été. Quelques plantes véritablement alpines se trouvent encore là, par exemple : les *Silene acaulis*, *Dryas octopetala*, *Androsace alpina* et *obtusifolia*, *Soldanella alpina*. La flore entière n'a que 298 espèces. Ce qu'il y a de plus curieux, c'est la disparition, depuis moins de deux siècles, de plusieurs espèces sur lesquelles les anciens botanistes n'avaient pas pu se tromper. Micheli, au commencement du siècle dernier, avait trouvé le *Phaca alpina* sur les montagnes voisines de Pistoia, et, plus tard encore, Vitman et Savi mentionnaient les *Papaver alpinum* et *Leontopodium alpinum* sur les mêmes montagnes, tandis que ces espèces n'existent plus sur aucune sommité de la Toscane. On entrevoit ainsi à quel point la végétation des Appennins pouvait être différente à l'époque de Pline, par exemple, de ce qu'elle est maintenant, et pourtant un laps de dix-huit siècles est peu de chose dans l'histoire moderne des phénomènes. C'est depuis plusieurs milliers d'années que les glaciers ont cessé de couvrir la haute Italie. Par combien de degrés n'a pas dû se modifier peu à peu la composition de la flore, pour que les espèces qui étaient alors au bord des glaciers dans la région inférieure, se soient cantonnées sur quelques sommités isolées où elles périssent de nos jours, et qu'une végétation jadis plus méridionale ait envahi toutes les plaines et même les versants de l'Appennin ! De ces changements si compliqués, il ne peut rester d'autres preuves positives que des fragments de végétaux enfouis dans quelque tuf, si par hasard il s'en est déposé, ou dans la vase du fond de quelque lac, ou encore dans la tourbe.

Déjà précédemment, il y a une trentaine d'années, on avait remarqué dans les prairies tourbeuses à côté du lac de Bientina, presque au niveau de la mer, une petite colonie ou plutôt un reste de sept espèces des régions septentrionales ou élevées de l'Europe, qui ont disparu depuis qu'on a desséché ce petit lac. Dans le nombre se trouvait le *Liparis Læselii*

et *l'Oxycoccos palustris*, qui manquent aux sommets de l'Appennin. La localité la plus rapprochée pour l'*Oxycoccos* est le Tyrol (Caruel, p. 351), du moins actuellement. Jadis, peut-être, même au commencement de notre ère, il existait encore plusieurs de ces débris de la flore antérieure sur les Appennins et dans les plaines du nord de l'Italie [1].

Un autre chapitre très-intéressant de l'ouvrage de M. Caruel, est celui sur la végétation des petites îles voisines de la côte de Toscane, Elbe, Giannutri, Giglio, Gorgona, Pianosa, Capraia et Montecristo. Malheureusement on ne connaît suffisamment que deux de ces îles, Elbe et Montecristo, sous le rapport botanique. De la première, on a déjà 750 Phanérogames ou Fougères, et de la seconde, 343. Probablement des recherches plus complètes pourront élever ces chiffres à 1000 et à 350, environ. L'île de Pianosa a été si peu visitée par les botanistes, qu'on en connaît seulement seize espèces. La richesse de végétation de ces îles paraît dépendre de leur étendue, de la quantité d'espèces que l'homme a pu y introduire par l'effet du commerce et des cultures, et aussi de la présence ou de l'absence de stations particulières, comme les marais, les prairies humides ou les bois.

On n'y a pas encore trouvé (et le fait doit être certain pour les deux îles qui sont suffisamment connues) quelques espèces de la terre ferme adjacente, par exemple les *Evonymus europæus*, *Cotoneaster Pyracantha*, *Pastinaca sativa*, *Cornus sanguinea*, *Bellis annua*, *Leucanthemum vulgare*, *Ligustrum vulgare*, *Echium italicum*, *Solanum Dulcamara*, *Linaria Cymbalaria*, *Salvia pratensis*, *Origanum vulgare*, *Thymus Serpyllum*, *Teucrium Polium*, *Globularia vulgaris*, *Celtis australis*, etc.

M. Caruel n'ayant ajouté aucune réflexion sur ce fait qu'il

[1] L'expression de *colonies* pour ces groupes isolés me plaît peu, les espèces n'ayant pas été transportées. C'est l'opposé de colonies; c'est un phénomène analogue à celui de quelques peuplades indiennes du nord de l'Amérique, isolées au milieu des blancs, ou des Basques, cantonnés dans quelques vallées occidentales des Pyrénées.

a eu le mérite de constater, je me permettrai de rappeler les pages 707 et 708 de ma *Géographie botanique raisonnée*, où se trouvent des faits analogues et les conclusions que la science peut en déduire. Les bras de mer qui séparent la Grande-Bretagne de la France, et les îles d'Ischia et la Sicile de l'Italie ont empêché, jusqu'à présent, le transport de plusieurs espèces. Il n'est pas surprenant qu'il en soit de même entre la Toscane et les petites îles qui en sont voisines. C'est une nouvelle confirmation de la rareté des naturalisations au travers d'un court intervalle de mer, par les courants, le vent ou les oiseaux. Les auteurs anglais qui ont écrit sur cette question depuis ma *Géographie botanique*, par exemple sir Charles Lyell, le Dr Hooker et M. Darwin, ont admis beaucoup plus facilement que moi des transports par les oiseaux. Ils considèrent ce moyen comme celui par lequel, ordinairement, les îles se sont couvertes de végétaux. L'opposition n'est pas aussi grande qu'il semble au premier aperçu, car il se pourrait bien que certaines îles, surtout les plus éloignées des terres, aient été peuplées par l'effet des oiseaux, tandis que d'autres l'auraient été par d'anciens continents disparus ou par des communications terrestres qui auraient cessé d'exister. Depuis quinze ans je me suis efforcé d'obtenir des chasseurs, des voyageurs ou des naturalistes, la preuve de transports de graines par les oiseaux, en particulier au travers de la mer Méditerranée, ou de l'une des Antilles à une autre, ou de Madagascar à l'île Maurice, mais on ne m'a jamais communiqué que des résultats négatifs. Après ces trajets un peu considérables, les oiseaux observés ne contenaient pas de graines dans leur intérieur, ce qui ne prouve pas, il est vrai, que dans une série de plusieurs milliers d'années ces mêmes espèces d'oiseaux, ou d'autres, n'aient pas transporté quelquefois des graines. Toujours est-il que pour les îles de la mer Méditerranée, depuis la configuration actuelle de ce bassin, c'est-à-dire au moins depuis l'époque de la grande extension des glaciers en Europe, cette cause de transports n'a pas

produit un effet appréciable. Il y a des espèces propres à certaines îles, et il y a encore plus d'espèces des continents voisins qui ne sont pas dans telle ou telle des îles, quoique rien, en fait de climat ou de nature du sol, ne puisse expliquer ces faits. Quelques-unes des espèces italiennes qui manquent aux petites îles de la Toscane, ont des fruits charnus avec de petites graines dures, conditions qui sont regardées comme étant les plus favorables au transport par les oiseaux. Je citerai les *Ligustrum vulgare*, *Cotoneaster* ou *Pyrus Pyracantha*, *Celtis australis*, *Solanum Dulcamara*. D'après tout un ensemble de faits, on est obligé, au moins pour les îles de la Méditerranée, de considérer la flore actuelle comme venant surtout d'un ancien état de choses dans lequel certains bras de mer n'existaient pas, et certaines îles étaient contiguës entre elles ou avec les continents, les moyens de transport ayant ensuite joué un rôle très-insignifiant, excepté celui qui résulte de l'homme, par ses vaisseaux et ses cultures.

Quand on possédera une flore de Corse, ouvrage qui manque absolument, et quand M. Cosson aura publié le catalogue des plantes d'Algérie qu'il nous fait espérer, on pourra constater aisément la présence ou l'absence de chaque espèce phanérogame dans toutes les parties occidentales de la région méditerranéenne, entre l'Espagne et le relèvement du fond de la mer qui rattache la Sicile à l'Afrique et qui a pu, sans hypothèse bien hasardée, les unir une fois à ciel ouvert. Une comparaison attentive des flores jettera peut-être alors un grand jour sur les époques auxquelles se sont établies dans chaque île et sur chacun des continents telles ou telles catégories d'espèces ; ou bien elle montrera que la mer a fait irruption dans les plaines d'une grande région déjà peuplée des espèces actuelles, en réservant les sommités devenues insulaires. Dans ce dernier cas, les espèces qui manquent à certaines îles seraient quelquefois arrivées récemment sur les terres voisines. J'avais remarqué ce genre d'indice de nouveauté pour quelques plantes du continent qui ne sont

pas encore parvenues en Angleterre ni dans l'île d'Ischia. On peut faire la même réflexion sur les *Linaria Cymbalaria* et *Senebiera pinnatifida*, qui manquent aux îles toscanes et dont l'une s'est répandue davantage depuis deux siècles en Europe, et l'autre y est arrivée plus récemment d'Amérique, Les tableaux de M. Caruel indiquent un grand nombre d'espèces d'Italie qui n'ont pas encore été trouvées dans les petites îles en question. Il sera très-intéressant de les étudier au point de vue de leur origine probable en Europe, mais il serait mieux pour cela qu'on eût exploré les sept îles aussi complétement que deux d'entre elles. L'étude sera d'autant plus curieuse que certaines de ces espèces sont réputées essentiellement méditerranéennes et croissent volontiers sur les rocailles, localités communes dans les îles de Toscane.

M. Caruel (p. 249) fait observer que la flore de ces petites îles contient des espèces d'un transport difficile, comme l'*Arisarum vulgare*, le *Trifolium subterraneum*, l'*Aphodelus microcarpus*, etc., tandis que les Composées, dont les aigrettes semblent favorables aux transports par le vent, existent dans la même proportion que sur la terre ferme et pas davantage.

Ceci est exactement ce que j'avais constaté pour d'autres îles, mais un exemple de plus est toujours intéressant.

Soixante-huit espèces ont été trouvées sur les îles de Toscane qui manquent à la terre ferme voisine, et les $^5/_6$ de ces espèces se trouvent en Corse et en Sardaigne. Quatre espèces seulement n'ont pas encore été trouvées ailleurs. De là cette conclusion de M. Caruel : « Si je ne me trompe, « toutes les observations concourent à un même résultat. « L'ensemble des caractères de la flore des îles toscanes « exige l'hypothèse de l'existence, à une époque plus ou « moins éloignée, d'une terre qui reliait le continent italien « à la Corse et dont les îles mentionnées ne seraient qu'un « reste. »

Alph. de C.

Dr J. Hanstein. Botanische Abhandlungen, etc. Mémoires botaniques sur la morphologie et la physiologie. Fasc. 1. Bonn, 1870.

Les *Archives* ont précédemment fait connaître un important travail du Dr Hanstein sur ce qu'il appelle le *Groupe des*

cellules terminales dans le point de végétation des Phanérogames[1]. On sait que M. Hanstein n'admet point l'existence d'une cellule terminale unique au sommet du cône végétatif des phanérogames et qu'il est arrivé à la conclusion que, chez les plantes de cette classe, le point végétatif se compose d'un groupe de cellules de même importance concourant toutes au même degré à l'accroissement de l'axe qu'elles terminent. M. Hanstein insistait aussi sur le fait que les tissus primordiaux (moelle, plérome, méristème et épiderme) se distinguent déjà les uns des autres immédiatement au-dessous du point de végétation, souvent même avant la première apparition des protubérances latérales destinées à former les feuilles. Le fait que l'épiderme est déjà distinct dans le plus jeune âge avait surtout fixé son attention. Il restait à savoir comment les choses se passent dans l'embryon dont l'évolution n'avait guère encore été étudiée sous ce rapport. C'est là le sujet du nouveau mémoire que nous annonçons.

Or l'ensemble d'un grand nombre d'observations, décrites avec un soin minutieux, vient corroborer la manière de voir de M. Hanstein en établissant clairement que le point végétatif de l'embryon des phanérogames est multicellulaire comme celui de leurs rameaux. L'embryon résulte de l'accroissement subséquent de deux ou trois cellules superposées du proembryon, mais à partir du moment où la cellule terminale de cette rangée primitive s'est augmentée, elle se trouve remplacée par deux, puis un plus grand nombre de cellules qui continuent à s'accroître simultanément.

Ici encore les tissus et surtout l'épiderme se distinguent les uns des autres de très-bonne heure, même antérieurement à l'apparition des cotylédons[1].

L'épiderme est donc une véritable enveloppe générale de tout le végétal. Reconnaissable dès le plus jeune âge, il ne cesse de s'accroître par segmentation de ses cellules, au fur et à mesure de l'expansion des tissus qu'il recouvre.

Le mémoire dont il s'agit ici est accompagné de plusieurs planches très-détaillées se rapportant aux espèces suivantes : Capsella Bursa-pastoris, Œnothera nocturna, Nicotiana

[1] Voir *Archives*, mars 1869.

Tabacum, Viola Altaica, Veronica latifolia, Cerastium, Rœmeria refracta, Geum urbanum, Alisma Plantago, Funkia Sieboldii, Allium rubrum, Allium Porrum, Asphodeline lutea, Atherurus ternatus, Ruscus racemosus, Tradescantia Virginica, Brachypodium distachyum.

On comprend que l'étude de l'évolution de l'embryon, chez tant d'espèces différentes, est un champ vaste dans lequel le Dr Hanstein a dû rencontrer et aborder une foule de questions de la plus haute importance. Aussi trouvera-t-on dans son mémoire un examen détaillé du mode de développement des cotylédons, des radicules, des coleorhizes, gaînes de monocotylédones, appendices des Graminées, etc. Il y a joint une série de considérations générales sur les questions les plus importantes de la morphologie.

Ainsi il se prononce ouvertement contre toute théorie ayant pour but d'expliquer la symétrie des ramifications par la forme ou le mode de cloisonnement des cellules terminales, même lorsque ces dernières sont réduites à une seule, comme cela a lieu dans les Cryptogames supérieures.

Il n'est pas moins explicite non plus à l'égard de l'hypothèse d'un rôle direct de la pesanteur dans la production des formes végétales, hypothèse soutenue, non sans réserves, il est vrai, dans un récent et important traité de morphologie[1]. C. de C.

Eug. Warming. Le Cyathium de l'Euphorbe est-il une fleur ou une inflorescence? Copenhague, 1871.

Tel est le titre d'une thèse de doctorat roulant sur une série de recherches organogéniques délicates et consciencieusement traitée, qui se rapportent aux quatorze espèces suivantes du genre Euphorbia : E. Peplus L., Helioscopia L., exigua L., Lathyris L., Esula L., Cyparissias L., Græca Boiss., Lagascæ Spr., pilosa L. var. trigonocarpa, falcata L., segetalis L., trapezoidalis Viv., medicaginea Boiss., Terracina L.

En résumé, le Dr Warming est conduit à considérer le Cyathium comme une inflorescence dont les fleurs unisexuelles sont réduites à la plus gande simplicité. C'est l'ancienne opinion de Rob. Brown, combattue plus récemment par MM. Payer et Baillon. C. de C.

[1] Hofmeister, Handbuch der physiologischen Botanik; v. I, fasc. 2. Allgemeine Morphologie.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES A L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

sous la direction de

M. le prof. E. PLANTAMOUR

PENDANT LE MOIS DE MARS 1871.

Le 1er, gelée blanche le matin.
2, bruine dans la matinée.
3, brouillard tout le jour.
4, brouillard tout le jour, sauf pendant un moment, à 4 h. après midi.
5, brouillard jusqu'à midi.
6, forte gelée blanche; couronne lunaire dans la soirée.
11, brouillard le matin; dans l'après-midi de 2 $^1/_2$ à 5 $^1/_2$ h. halo solaire; on voit les deux parhélies et une partie de l'arc tangent supérieur.
12, forte gelée blanche le matin.
15, dans la soirée quelques flocons de neige.
17, neige le matin; depuis 2 h. de l'après-midi forte bise, qui dure jusque dans la nuit du 18 au 19.
22, 23, 24, 25, gelée blanche le matin.
26, halo solaire dans l'après-midi; très-éclatant à plusieurs reprises.
28, à 2 h. après midi, la bise commence à souffler avec force, et elle dure jusque dans l'après-midi du 31.

Valeurs extrêmes de la pression atmosphérique.

MAXIMUM.	mm	MINIMUM.	mm
Le 2 à 10 h. matin	739,08	Le 6 à 6 h. soir	725,75
9 à 10 h. matin	737,69	16 à 5 1/4 h. soir	714,56
17 à 10 h. soir	728,37	20 à 4 h. après m.	723,72
21 à 10 h. soir	727,53	24 à 4 h. après m.	723,82
27 à 10 h. matin	727,44	29 à 4 h. après m.	723,14
31 à 8 h. soir	726,23		

GENÈVE. — MARS 1871.

Jours du mois.	Baromètre. Hauteur moy. des 24 h.	Baromètre. Écart avec la hauteur normale	Température C. Moyenne des 24 heures	Température C. Écart avec la temp. normale.	Température C. Minim.	Température C. Maxim.	Tension de la vap. Moy. des 24 h.	Tension de la vap. Écart avec la tension normale.	Fract. de saturation en millièmes. Moy. des 24 h.	Fract. de saturation Écart avec la fraction norm.	Fract. de saturation Minim.	Fract. de saturation Maxim.	Pluie ou neige Eau tomb. d. les 24 h.	Pluie ou neige Nomb. d'h.	Vent dominant.	Clarté moy. du Ciel.	Temp. du Rhône Midi.	Temp. du Rhône Écart avec la temp. normale.	Limnimètre à 11 h.
	millim.	millim.	0	0	0	0	millim.	millim.					mm.				0	0	cm.
1	734,48	+ 8,86	+ 5,00	+2,17	+ 0,3	+10,0	5,17	+0,69	789	+ 1	630	930	...	...	NNE. 2	0,28	4,8	— 0,6	111
2	738,55	+12,98	+ 3,27	+0,32	+ 2,7	+ 4,9	5,30	+0,79	932	+147	860	940	...	...	N. 1	1,00	4,9	— 0,6	111
3	737,00	+11,48	+ 2,06	—1,00	+ 1,7	+ 4,0	5,26	+0,73	998	+216	920	1000	...	...	variable	1,00	4,8	— 0,2	111
4	732,22	+ 6,75	+ 1,18	—2,00	— 0,1	+ 5,2	4,94	+0,39	993	+214	810	1000	...	...	N. 1	0,89	4,8	— 0,7	111
5	732,83	+ 7,41	+ 1,74	—2,36	— 1,8	+ 6,0	5,02	+0,45	955	+179	840	1000	0,3	...	N. 1	0,40	—	—	111
6	727,99	+ 2,62	+ 4,92	+1,50	— 1,1	+14,7	5,36	+0,77	821	+ 48	580	970	...	...	N. 1	0,27	5,8	+ 0,2	111
7	728,60	+ 3,29	+ 8,24	+4,70	+ 4,6	+13,8	6,05	+1,44	765	— 5	430	940	2,6	4	variable	0,93	5,6	— 0,1	111
8	733,10	+ 7,85	+ 7,70	+4,04	+ 4,3	+11,8	7,39	+2,77	935	+167	770	990	8,0	12	SSO. 1	1,00	5,9	+ 0,2	110
9	736,62	+11,43	+ 6,06	+2,28	+ 3,4	+ 9,7	5,10	+0,47	756	— 10	550	880	...	...	N. 1	0,32	5,9	+ 0,2	110
10	734,44	+ 9,31	+ 7,38	+3,48	+ 3,2	+11,2	5,83	+1,19	761	— 3	570	940	0,5	2	variable	0,99	6,2	+ 0,4	110
11	734,09	+ 9,02	+ 5,67	+1,65	+ 1,3	+10,4	6,12	+1,47	893	+131	700	1000	...	...	N. 1	0,32	6,7	+ 0,8	112
12	731,07	+ 6,06	+ 6,10	+1,95	— 0,2	+11,0	5,48	+0,82	774	+ 14	640	970	...	...	N. 1	0,01	—	—	113
13	729,16	+ 4,21	+11,65	+7,37	+ 7,3	+16,8	5,47	+0,80	555	—203	400	760	...	...	SSO. 2	0,53	6,7	+ 0,7	115
14	727,14	+ 2,25	+ 8,25	+3,85	+ 6,2	+11,2	7,13	+2,45	881	+125	670	940	3,2	4	N. 1	0,87	6,9	+ 0,9	116
15	723,61	— 1,23	+ 6,95	+2,42	+ 2,8	+11,0	5,37	+0,68	749	— 5	580	800	7,3	6	SSO. 1	0,99	6,3	+ 0,2	116
16	719,32	— 5,49	+ 1,71	—2,95	— 0,2	+ 4,0	3,83	—0,88	754	+ 2	460	870	7,8	7	SO. 2	0,87	5,4	— 0,8	116
17	725,11	+ 0,33	+ 1,55	—3,23	— 0,3	+ 4,0	3,49	—1,24	702	— 48	500	850	0,3	2	NNE. 2	0,74	5,4	— 0,8	116
18	726,90	+ 2,15	+ 0,96	—3,95	— 0,7	+ 3,9	3,69	—1,06	770	+ 22	560	870	...	...	NNE. 3	0,20	4,9	— 1,4	117
19	725,62	+ 0,90	+ 0,79	—4,25	— 3,0	+ 4,0	3,27	—1,50	700	— 46	530	920	...	...	NNE. 2	0,36	—	—	117
20	724,23	— 0,46	+ 1,57	—3,60	— 2,7	+ 4,9	3,78	—1,02	740	— 4	650	960	...	...	N. 1	0,83	5,3	— 1,1	117
21	725,98	+ 1,32	+ 3,46	—1,84	+ 1,2	+ 6,2	4,28	—0,55	753	+ 11	600	890	...	...	NNE. 1	0,56	5,7	— 0,8	117
22	726,55	+ 1,92	+ 4,50	—0,93	— 0,4	+10,0	5,00	+0,14	795	+ 55	570	960	...	...	N. 1	0,05	5,8	— 0,8	117
23	726,01	+ 1,41	+ 7,00	+1,44	+ 0,5	+13,8	5,46	+0,57	735	— 3	450	910	...	...	N. 1	0,06	5,9	— 0,8	117
24	724,84	+ 0,27	+ 9,00	+3,31	+ 1,1	+18,8	5,73	+0,81	684	— 52	370	970	...	...	N. 1	0,03	6,3	— 0,4	117
25	724,75	+ 0,21	+ 8,65	+2,83	+ 1,7	+15,0	5,30	+0,35	645	— 89	400	840	...	...	SO. 1	0,76	6,4	— 0,4	117
26	726,18	+ 1,67	+10,77	+4,81	+ 4,6	+17,9	5,64	+0,66	601	—131	330	810	...	...	SO. 1	0,53	—	—	117
27	726,28	+ 1,80	+10,30	+4,21	+ 7,4	+15,1	7,11	+2,10	772	+ 42	580	880	2,8	5	N. 1	0,63	7,5	+ 0,6	117
28	725,05	+ 0,59	+ 6,47	+0,24	+ 1,7	+12,2	5,70	+0,66	780	+ 52	520	950	0,5	2	NNE. 3	0,80	7,8	+ 0,8	119
29	723,62	— 0,82	+ 1,34	—5,02	— 1,1	+ 4,1	3,13	—1,94	645	— 81	420	760	...	...	NNE. 3	0,10	6,9	— 0,2	119
30	724,08	— 0,34	+ 2,61	—3,88	+ 0,6	+ 5,0	3,13	—1,97	596	—129	390	870	...	...	NNE. 3	0,44	5,6	— 1,5	119
31	725,64	+ 1,23	+ 3,11	—3,52	— 0,3	+ 7,3	2,89	—2,24	543	—181	310	750	...	...	NNE. 2	0,09	5,3	— 1,9	119

MOYENNES DU MOIS DE MARS 1871.

	6 h. m.	8 h. m.	10 h. m.	Midi.	2 h. s.	4 h. s.	6 h. s.	8 h. s.	10 h. s.
Baromètre.									
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	733,79	734,19	734,33	733,89	733,12	732,86	733,03	733,48	733,78
2e «	727,24	727,56	727,50	726,91	726,12	725,51	725,67	726,18	726,33
3e «	725,53	725,83	725,87	725,53	725,02	724,76	725,13	725,68	725,83
Mois	728,74	729,08	729,13	728,67	727,99	727,61	727,85	728,36	728,56
Température.									
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1re décade	+ 2,42	+ 2,96	+ 5,27	+ 7,36	+ 8,06	+ 7,50	+ 6,17	+ 5,17	+ 4,15
2e «	+ 2,14	+ 3,43	+ 5,73	+ 6,74	+ 7,03	+ 6,78	+ 5,69	+ 4,98	+ 4,62
3e «	+ 2,50	+ 4,49	+ 6,61	+ 8,18	+ 9,57	+ 9,92	+ 9,04	+ 6,46	+ 5,45
Mois	+ 2,36	+ 3,66	+ 5,89	+ 7,46	+ 8,26	+ 8,12	+ 7,03	+ 5,57	+ 4,77
Tension de la vapeur.									
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	5,07	5,11	5,53	5,71	5,61	5,71	5,95	5,85	5,78
2e «	4,56	4,72	4,82	4,74	4,83	4,81	4,78	5,06	5,00
3e «	4,80	5,18	5,28	5,14	4,75	4,43	4,50	4,98	5,04
Mois	4,81	5,01	5,21	5,20	5,05	4,96	5,06	5,29	5,26
Fraction de saturation en millièmes.									
1re décade	929	900	840	755	712	744	840	880	924
2e «	843	784	688	637	647	639	679	761	768
3e «	852	797	704	613	525	478	505	661	722
Mois	874	826	743	666	624	616	669	764	802

	Therm. min.	Therm. max.	Clarté moy. du Ciel.	Température du Rhône.	Eau de pluie ou de neige.	Limnimètre.
	0	0		0	mm	cm
1re décade	+ 1,72	+ 9,13	0,71	5,41	11,4	110,7
2e «	+ 1,05	+ 8,12	0,57	5,95	17,6	116,5
3e «	+ 1,55	+11,40	0,40	6,32	3,3	117,6
Mois	+ 1,44	+ 9,61	0,54	5,91	32,3	115,1

Dans ce mois, l'air a été calme 3 fois sur 100.

Le rapport des vents du NE. à ceux du SO. a été celui de 2,37 à 1,00.

La direction de la résultante de tous les vents observés est N. 1°,6 E., et son intensité est égale à 56,2 sur 100.

TABLEAU

DES

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AU SAINT-BERNARD

pendant

LE MOIS DE MARS 1871.

Le 7,	brouillard	depuis midi.
8,	id.	le matin et le soir ; neige dans la nuit du 8 au 9.
9,	id.	jusqu'à 6 h. du soir.
10,	id.	depuis 8 h. du matin.
12,	id.	depuis 2 h. après midi.
13,	id.	une partie de la journée.
14 et 15,	id.	tout le jour ; neige dans la nuit du 14 au 15.
16,	id.	une partie de la journée.
17,	id.	tout le jour.
18,	id.	le matin et le soir.
20,	id.	presque tout le jour.
22,	id.	id.
24 et 25,	id.	tout le jour.
26,	id.	jusqu'à 2 h. après midi.
28,	id.	tout le jour.
29 et 30,	id.	presque tout le jour.

Valeurs extrêmes de la pression atmosphérique.

MAXIMUM	mm	MINIMUM.	mm
Le 2 à 10 h. soir	573,05	Le 4 à 4 h. après m.	567,55
5 à midi	568,84	7 à 6 h. matin	565,54
8 à midi	568,69	10 à 4 h. après m.	567,25
11 à 10 h. soir	569,31	16 à 8 h. soir	551,02
19 à 8 h. soir	559,08	20 à midi	557,34
24 à 10 h. soir	564,49	30 à 8 h. soir	554,12
31 à 10 h. soir	558,81		

Jours du mois	Baromètre.				Température C.				Pluie ou neige.			Vent dominant.	Clarté moyenne du Ciel.
	Hauteur moy. des 24 heures.	Écart avec la hauteur normale.	Minimum.	Maximum	Moyenne des 24 heures.	Écart avec la température normale.	Minimum*	Maximum*	Hauteur de la neige.	Eau tombée dans les 24 h.	Nombre d'heures.		
	millim.	millim.	millim.	millim.	°	°	°	°	millim.	millim			
1	569,72	+10,03	568,72	570,91	— 0,80	+ 7,43	— 3,2	+ 2,3	.....	.....	....	NE. 1	0,00
2	572,48	+12,80	571,51	573,05	— 0,11	+ 8,06	— 3,3	+ 3,6	.....	.....	....	variable	0,01
3	571,80	+12,12	570,90	572,63	+ 1,03	+ 9,13	— 1,3	+ 5,0	.....	.....	....	NE. 0	0,00
4	568,12	+ 8,45	567,55	569,02	— 0,28	+ 7,77	— 4,2	+ 2,8	.....	.....	....	variable	0,01
5	568,41	+ 8,74	568,02	568,84	— 4,12	+ 3,87	— 6,3	— 1,3	.....	.....	....	SO. 1	0,00
6	566,47	+ 6,81	566,10	567,06	— 5,55	+ 2,37	— 7,7	— 3,3	.....	.....	....	variable	0,04
7	566,68	+ 7,02	565,54	567,61	— 5,77	+ 2,08	— 7,8	— 4,0	.....	.....	....	SO. 1	0,92
8	568,24	+ 8,58	567,48	568,69	— 3,16	+ 4,62	— 5,2	0,0	15	2,0	....	variable	0,80
9	568,19	+ 8,52	568,01	568,61	— 7,81	— 0,10	— 9,1	— 5,6	10	1,8	....	NE. 2	0,77
10	567,61	+ 7,94	567,25	567,92	— 4,31	+ 3,33	— 7,8	+ 0,2	.....	.....	....	NE. 1	0,83
11	568,71	+ 9,03	567,45	569,31	— 3,80	+ 3,76	— 7,4	— 1,0	.....	....	....	NE. 1	0,01
12	568,65	+ 8,96	568,11	569,22	— 3,00	+ 4,48	— 3,8	— 0,4	.....	.....	....	SO. 1	0,51
13	566,36	+ 6,66	566,04	566,81	— 3,29	+ 4,11	— 5,8	0,0	.....	.....	....	SO. 1	0,54
14	563,59	+ 3,88	562,43	565,03	— 4,57	+ 2,75	— 5,0	— 3,0	.....	.....	....	SO. 1	0,93
15	558,83	— 0,90	556,98	560,24	— 5,48	+ 1,75	— 7,6	— 2,2	25	2,5	....	SO. 1	0,91
16	553,24	— 6'51	551,02	555,65	— 8,23	— 1,09	—10,4	— 4,4	180	12,5	....	variable	0,91
17	555,37	— 4,40	552,44	557,74	—12,98	— 5,93	—14,3	—11,0	.....	.....	....	NE. 3	0,96
18	557,15	— 2,64	556,98	557,40	—14,00	— 7,04	—15,4	—12,0	.....	.....	....	NE. 2	0,41
19	558,28	— 1,54	556,75	559,08	— 8,46	— 1,59	—10,2	— 5,0	.....	.....	....	SO. 1	0,13
20	557,61	— 2,24	557,34	558,24	— 7,47	— 0,70	—10,4	— 3,8	.....	.....	....	variable	0,74
21	561,33	+ 1,45	559,24	562,69	— 2,95	+ 3,72	— 5,3	+ 1,3	.....	.....	....	variable	0,36
22	563,29	+ 3,38	562,40	564,13	— 3,76	+ 2,81	— 5,6	— 1,7	.....	.....	....	SO. 1	0,67
23	563,90	+ 3,96	563,65	564,15	— 1,82	+ 4,65	— 3,8	+ 1,0	.....	.....	....	SO. 1	0,30
24	563,99	+ 4,01	563,60	564,49	— 5,70	+ 0,67	— 8,2	— 4,0	.....	.....	....	SO. 2	0,91
25	563,46	+ 3,44	563,21	563,82	— 6,85	— 0,59	— 8,4	— 5,3	.....	.....	....	SO. 2	0,99
26	563,74	+ 3,68	563,49	564,10	— 4,96	+ 1,20	— 6,8	— 2,5	.....	.....	....	SO. 1	0,69
27	563,46	+ 3,36	563,05	563,85	— 2,21	+ 3,84	— 6,0	+ 1,8	.....	.....	....	NE. 1	0,44
28	559,95	— 0,20	557,95	561,64	— 5,07	+ 0,87	— 7,0	— 2,6	.....	.....	....	NE. 2	1,00
29	555,25	— 4,95	555,10	555,47	—12,02	— 6,19	—14,8	— 8,8	.....	.....	....	NE. 1	0,80
30	555,41	— 4,84	554,12	556,42	—12,91	— 7,19	—15,0	— 8,5	.....	.....	....	NE. 2	0,96
31	557,65	— 2,65	556,35	558,81	—11,16	— 5,56	—12,5	— 7,8	.....	.....	....	NE. 1	0,00

* Ces colonnes renferment la plus basse et la plus élevée des températures observées de 6 h. matin à 10 h. soir.

MOYENNES DU MOIS DE MARS 1871.

	6 h. m.	8 h. m.	10 h. m.	Midi.	2 h. s.	4 h. s.	6 h. s.	8 h. s.	10 h. s.
Baromètre.									
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	568,55	568,78	569,01	568,99	568,77	568,71	568,83	568,85	568,88
2e »	560,77	561,01	561,20	561,17	560,87	560,59	560,64	560,54	560,65
3e »	560,55	560,89	561,15	561,20	561,06	561,03	561,21	561,33	561,38
Mois	563,20	563,47	563,70	563,70	563,49	563,37	563,48	563,50	563,56
Température.									
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1re décade	— 4,47	— 3,35	— 1,55	— 1,32	— 0,10	— 0,87	— 3,35	— 4,60	— 3,77
2e »	— 8,31	— 7,92	— 6,37	— 5,12	— 4,79	— 5,07	— 6,67	— 7,56	— 7,93
3e »	— 7,67	— 6,52	— 5,15	— 3,81	— 3,66	— 4,59	— 6,25	— 7,06	— 7,69
Mois	— 6,84	— 5,95	— 4,38	— 3,43	— 2,87	— 3,55	— 5,45	— 6,43	— 6,50

	Min. observé.*	Max. observé.*	Clarté moyenne du Ciel.	Eau de pluie ou de neige.	Hauteur de la neige tombée.
	0	0		mm	mm
1re décade	— 5,59	— 0,03	0,34	3,8	25
2e »	— 9,03	— 4,28	0,61	15,0	205
3e »	— 8,49	— 3,37	0,65	0,0	00
Mois	— 7,73	— 2,59	0,53	18,8	230

Dans ce mois, l'air a été calme 10 fois sur 100.

Le rapport des vents du NE. à ceux du SO. a été celui de 1,18 à 1,00.

La direction de la résultante de tous les vents observés est N. 45° E., et son intensité est égale à 10,4 sur 100.

* Voir la note du tableau.

Pl. V.

62 63 64 65 66 67

Hα D E Hβ Hγ

HI

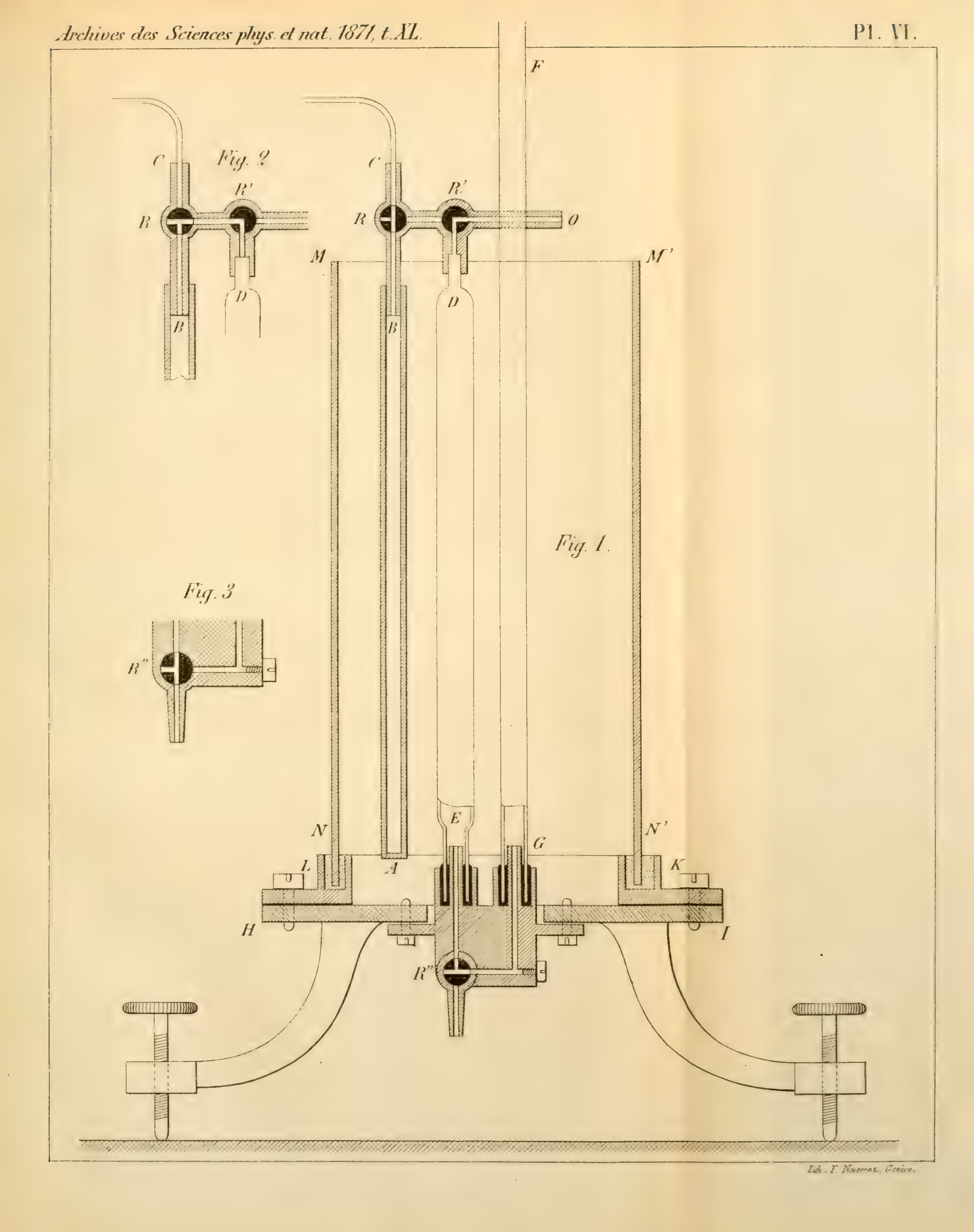
HII

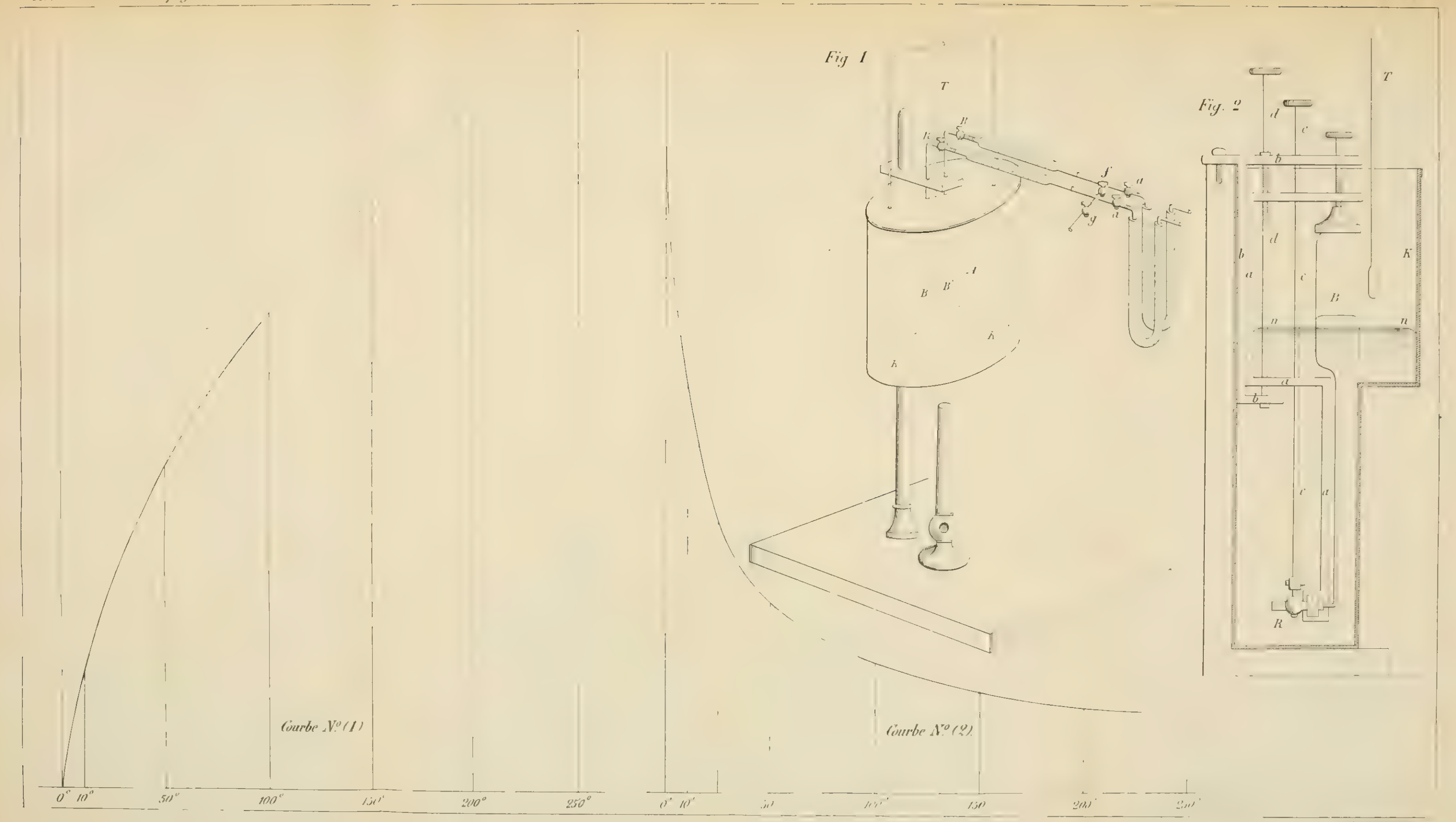
HIII.

NII

NI

Lith. J. La Ruelle, Aachen


Fig. 1.
Fig. 2
Fig. 3
C
R
R'
R''
B
D
M
M'
N
N'
L
K
A
E
G
F
O
H
I
Lith. T. Noverraz, Genève.


Fig 1
Fig. 2
T
d
c
b
a
B
n
K
R
f
g
Courbe N° (1)
Courbe N° (2)
0°
10°
50°
100°
150°
200°
250°
150

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

ARCHIVES DES SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE TOME XL (NOUVELLE PÉRIODE)

1871. — Nos 157 à 160.

BULLETIN SCIENTIFIQUE.

PHYSIQUE.

ZOOLOGIE, ANATOMIE ET PALÉONTOLOGIE.

BOTANIQUE.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

faites à Genève et au Grand Saint-Bernard

